

Undersøkelse og bevaring av informasjonspotensialet i jernkorrosjon

Hilde Skogstad



Masteroppgave i gjenstandskonservering ved Humanistisk fakultet,
Institutt for arkeologi, konservering og historie

UNIVERSITETET I OSLO

18.12.2009.

Sammendrag

Masteroppgaven er en materialbasert oppgave og det relevante materialet er arkeologisk jern. Forskningstematikken i oppgaven dreier seg rundt informasjonspotensialet i jernets korrosjonsprodukter, og den tilstedeværende problematikken ved de ofte motstridende konserveringsrelaterte målene stabilisering av jernet og bevaring av informasjonspotensialet. At målene er motstridende bunner i at tradisjonelle konserveringsmetoder gjerne endrer eller fjerner informative fenomener i korrosjonen.

I oppgavens teoridel gjøres det rede for hvilke informative fenomener som kan forventes å finnes i korrosjonsprodukter. Disse systematiseres i kategoriene gjenstandens arkeologiske kontekst, gjenstandens originale overflate, gjenstandens tilvirkning, dekor og tilknyttede organiske materialer. Videre drøftes det hvordan utvalgte stabiliseringsbehandlinger trolig vil påvirke disse fenomenene. I oppgavens praktiske del undersøkes testmaterialet med relevante analysemetoder for oppdaging av kildene til informasjonen gjort rede for. Blant de drøftede stabiliseringsmetodene utvelges deretter avsalting med natriumhydroksid og basisk sulfitt til behandling av jernet. Valgene baseres på metodenes dokumenterte effekt innen avsalting, spørreundersøkelse som bekrefter deres bruk på skandinaviske museer, og ikke minst den faglige uttrykte usikkerheten rundt metodenes konsekvenser for informative fenomener i korrosjon. Gjentakelsen av innledende analyseprosedyre på materialet etter behandling demonstrerer at verken natriumhydroksid eller basisk sulfitt påvirker informative fenomener i like stor grad som forventet på bakgrunn av publisert litteratur. Begge metoder forårsaker noe fargeendring og oppsprekking av øvre korrosjonslag, men har ingen negativ effekt på mikrostrukturen hos mineralisert organisk materiale. Ingen av metodene medfører reduksjon av korrosjonsprodukter og har dermed ingen konsekvenser for lokalisering av original overflate. Metallografiske strukturer i korrosjonslag blir heller ikke påvirket. Innlegg av metallene sølv, kobber og tinn blir derimot påvirket ved fargeendring i varierende grad. På tross av dette konkluderes det at ved noe tilpasning av metodene vil de på en generell basis kunne anbefales, også fremfor en ikke-inngripende bevaringsstrategi basert på oksygenfri oppbevaring.

Forord

Masteroppgaven 2009 ble skrevet i tidsrommet 17.08.09. – 18.12.09.

Arbeidet med masteroppgaven har gitt meg muligheten til en spennende fordypningsstudie i arkeologisk jernkorrosjon som kilde til gjenstands og kontekstrelatert informasjon. Gjennom utførelsen av undersøkelser og testbehandlinger har jeg oppnådd en innsikt i hvordan konservering kan utgjøre en viktig rolle innenfor oppdaging og ivaretaking av denne informasjonen. Flere personer fortjener takk for å ha gjort dette mulig. For det første vil jeg takke førsteamanuensis Jeremy Hutchings for konstruktiv veiledning. Jeg vil videre takke de personer som har bidratt med testmateriale til oppgaven. Disse er hovedsakelig konservator Maryam Babashahi, seksjonsleder Anne Sommer-Larsen og professor emeritus Heid Gjøstein Resi på Kulturhistorisk Museum, og konservatorer Inger Marie Egenberg og Pål Thome på Norsk Sjøfartsmuseum. Takk rettes også til alle som har hjulpet og veiledet meg innenfor nødvendige analysemetoder. Universitetslektor Douwtje van der Meulen skal ha takk for hjelp til røntgenanalyser, mens førsteamanuensis Hartmut Kutzke, konservator Susan Braovac og forsker Asbjørn Skogstad takkes for veiledning innen bruk av SEM-EDS. Sist men ikke minst vil jeg også takke mine medstudenter som er mennesker av ypperste klasse å omgås med under arbeidet med en masteroppgave.

Innholdsfortegnelse

1. Innledning	s. 1
2. Teori	s. 4
Nedbrytningsmekanismer og korrosjonsprodukter	s. 4
Informasjon i korrosjonsprodukter	s. 7
Gjenstandens arkeologiske kontekst	s. 7
Gjenstandens originale overflate	s. 9
Gjenstandens tilvirkning	s. 10
Gjenstandens dekor	s. 12
Tilknyttet organisk materiale og mineralisert organisk materiale	s. 12
Nødvendigheten av konservering versus bevaring av informasjon	s. 14
Konsekvenser av konserveringsbehandlinger	s. 17
<i>Mekanisk rens</i>	s. 17
<i>Utvaking av klorider</i>	s. 17
<i>Elektrolyse</i>	s. 18
<i>Gass plasma reduksjon</i>	s. 19
<i>Natriumhydroksid</i>	s. 20
<i>Basisk sulfitt</i>	s. 22
3. Generell metodikk	s. 24
Testmaterialet og premisser for metodikk	s. 24
Undersøkelse og analyser av korrosjon	s. 26
Gjenstandens arkeologiske kontekst	s. 26
Gjenstandens originale overflate	s. 26
Gjenstandens tilvirkning	s. 27
Gjenstandens dekor	s. 27
Tilknyttet organisk materiale og mineralisert organisk materiale	s. 28
Spørreundersøkelse for en oversikt over og vurdering av konserveringsmetoder for arkeologisk jern på skandinaviske museer	s. 29
Utvalgte konserverings/stabiliseringsbehandlinger	s. 30
Avsalting med natriumhydroksid og basisk sulfitt	s. 30
Stabilisering ved oppbevaring i et oksygenfritt miljø	s. 31

4. Undersøkelses og behandlingsbeskrivelse	s. 33
Spørreundersøkelse for en oversikt over og vurdering av konserveringsmetoder for arkeologisk jern på skandinaviske museer	s. 33
Undersøkelser og analyser av korrosjon	s. 33
Røntgenanalyse	s. 33
XRD-analyse	s. 34
Undersøkelse av tverrsnitt for metallografisk analyse og korrosjonsstratigrafi	s. 35
Analyse med elektronmikroskop (SEM-EDS)	s. 36
Utvalgte konserverings/stabiliseringsbehandlinger	s. 37
Behandlingsoversikt	s. 37
Avsalting med natriumhydroksid	s. 38
Avsalting med basisk sulfitt	s. 39
Ikke-inngripende stabilisering ved ESCAL/RP systemet	s. 39
5. Resultater og diskusjon av analyser	s. 41
Spørreundersøkelse for en oversikt over og vurdering av konserveringsmetoder for arkeologisk jern på skandinaviske museer	s. 41
Undersøkelse og analyse av korrosjon	s. 44
Gjenstandens arkeologiske kontekst	s. 44
Gjenstandens originale overflate	s. 46
Gjenstandens tilvirkning	s. 50
Gjenstandens dekor	s. 55
Tilknyttet organisk materiale og mineralisert organisk materiale	s. 56
Stabilisering ved oppbevaring i et oksygenfritt miljø	s. 67
6. Konklusjon	s. 69
7. Referanser	s. 74

Figurer

Figur 1: Forslag til lokalisering av grensen til original overflate i korrosjonsmasse (hentet fra Neff et. al., 2004, s. 744).	s. 10
Figur 2: Oversikt over metallers korrosjonspotensiale i NaOH. Målt våren 2009 av forfatter og medstudenter.	s. 22
Figur 3: Monterte prøver for SEM-EDS analyse.	s. 37
Figur 4: Behandling med NaOH i oksygenfritt miljø ved ESCAL/RP	s. 38
Figur 5: Testing i mikroklima med høy RF	s. 40
Figur 6: Jerngjenstand pakket med ESCAL/RP systemet	s. 40
Figur 7: 39002 før behandling med NaOH. kV 65	s. 46
Figur 8: 39002 etter behandling med NaOH. kV 65	s. 46
Figur 9: 40288 før behandling med basisk sulfitt	s. 46
Figur 10: 40288 etter behandling med basisk sulfitt	s. 46
Figur 11: 39775 før behandling i NaOH. kV 65	s. 47
Figur 12: 39775 etter behandling i NaOH. kV 65	s. 47
Figur 13: Detalj 39775 etter behandling i NaOH. kV 65	s. 47
Figur 14: NSM 03010078 x 758. korrosjon fra øverst på blad. Før behandling med basisk sulfitt	s. 48
Figur 15: NSM 03010078 x 758. Korrosjon fra øverst på blad. Etter behandling med basisk sulfitt	s. 48
Figur 16: NSM 03010078 x 758. korrosjon fra nederst på blad. Før behandling med basisk sulfitt	s. 48
Figur 17: NSM 03010078 x 758. korrosjon fra nederst på blad. Etter behandling med basisk sulfitt	s. 48
Figur 18: NSM 03010078 x 758. korrosjon fra hjalte. Før behandling med NaOH	s. 48
Figur 19: NSM 03010078 x 758. korrosjon fra hjalte. Etter behandling med NaOH	s. 48
Figur 20: A94/136. korrosjon fra øksehode. Før behandling med basisk sulfitt	s. 49
Figur 21: A94/136. korrosjon fra øksehode. Etter behandling med basisk sulfitt	s. 49
Figur 22: 39775. korrosjon fra blad. Før behandling med NaOH	s. 49
Figur 23: 39775. korrosjon fra blad. Etter behandling med NaOH	s. 49
Figur 24: A94/136. 200X. Gjenværende metallinklusjon i grått kompakt korrosjonslag. Etset.	s. 51
Figur 25: A94/136. 400X. Gjenværende metallinklusjon. Etset. Tolket som ferritt + perlitt	s. 51
Figur 26: A94/136. 200X. Gjenværende metallinklusjon i grått kompakt korrosjonslag. Ikke etset.	s. 51
Figur 27: A94/136. 400X. Gjenværende metallinklusjon. Etset. Tolket som ferritt og perlitt	s. 51
Figur 28: A94/136. 200X. Gjenværende metallinklusjon i grått kompakt korrosjonslag. Ikke etset.	s. 51
Figur 29: A94/136. 400X. Gjenværende metallinklusjon. Etset. Tolket som ferritt og perlitt.	s. 51
Figur 30: NSM 03010078 x 758. 300X. Gjenværende metallinklusjon i grått kompakt korrosjonslag ved bladegg. Ikke etset.	s. 52
Figur 31: NSM 03010078 x 758. Gjenværende metallinklusjon. Etset. Tolket som martensitt.	s. 52
Figur 32: A94/136. Gjenværende metallinklusjon i grått lag. Etset. Ferritt + perlitt	s. 52
Figur 33: A94/136. Gjenværende metallinklusjon i grått lag. Etset. Ferritt + perlitt	s. 52
Figur 34: A94/136. Ferritt + perlitt Delvis fossilisert metallografisk struktur	s. 52
Figur 35: A94/136. Gjenværende metallinklusjon i grått lag. Etset. Ferritt + perlitt	s. 52
Figur 36: A94/136. Gjenværende metallinklusjon i grått lag. Etset. Ferritt og perlitt	s. 52
Figur 37: NSM 03010078 x 758. Gjenværende metallinklusjon. Ikke etset	s. 53
Figur 38: NSM 03010078x758. Gjenværende metallinklusjon. Etset. Martensitt	s. 53
Figur 39: Kobber, tinn og sølv ubehandlet	s. 55
Figur 40: Kobber, tinn og sølv behandlet i NaOH	s. 55
Figur 41: Kobber, tinn og sølv behandlet i basisk sulfitt	s. 55
Figur 42: Kobber, tinn og sølv behandlet i NaOH i oksygenfritt miljø ved ESCAL/RP	s. 55
Figur 43: A94/136. Mineralisert tre før behandling med basisk sulfitt.	s. 56
Figur 44: A94/136. Mineralisert tre etter behandling med basisk sulfitt.	s. 56
Figur 45: A94/136. Tverrsnitt før behandling	s. 56
Figur 46: A94/136. Tverrsnitt etter behandling	s. 56
Figur 47: A94/136. Tverrsnittdetalj før behandling	s. 57
Figur 48: A94/136. Tverrsnittdetalj etter behandling	s. 57
Figur 49: A94/136. Tangentialsnitt før behandling	s. 57
Figur 50: A94/136. Tangentialsnitt etter behandling	s. 57
Figur 51: A94/136. Tangentialsnittdetalj før behandling	s. 57
Figur 52: A94/136. Tangentialsnittdetalj etter behandling	s. 57
Figur 53: A94/136. Radialsnitt før behandling	s. 58
Figur 54: A94/136 Radialsnitt etter behandling	s. 58
Figur 55: A94/136. Raialsnittdetalj etter behandling. Stigeformet perforasjon	s. 58

Figur 56: A94/136. Grunnstoffanalyse før behandling	s. 58
Figur 57: A94/136. Grunnstoffanalyse etter behandling	s. 58
Figur 58: A94/136. Radialsnitt etter konsolidering og behandling	s. 58
Figur 59: A94/136. Radialsnittdetalj etter konsolidering og behandling	s. 58
Figur 60: NSM 03010078 x 758. Hjalte med mineralisert tre før behandling med NaOH	s. 59
Figur 61: NSM 03010078 x 758. Hjalte med mineralisert tre etter behandling med NaOH.	s. 59
Figur 62: NSM 03010078 x 758. Mineralisert tre før behandling	s. 59
Figur 63: NSM 03010078 x 758. Mineralisert tre etter behandling	s. 59
Figur 64: NSM 03010078 x 758. Mineralisert tre før behandling. Detalj. Trolig tangentialsnitt	s. 59
Figur 65: NSM 03010078 x 758. Mineralisert tre etter behandling. Detalj. Trolig tangentialsnitt	s. 59
Figur 66: NSM 03010078 x 758. Grunnstoffanalyse før behandling	s. 59
Figur 67: NSM 03010078 x 758. Grunnstoffanalyse etter behandling	s. 59
Figur 68: 39775. Mineralisert organisk knivskrift før behandling med NaOH	s. 60
Figur 69: Mineralisert organisk knivskrift etter behandling med NaOH	s. 60
Figur 70: 39775. Mineralisert organisk knivskrift før behandling. Muligens horn	s. 60
Figur 71: 39775. Mineralisert organisk knivskrift etter behandling. Muligens horn	s. 60
Figur 72: 39775. Grunnstoffanalyse før behandling	s. 60
Figur 73: 39775. Grunnstoffanalyse etter behandling	s. 60
Figur 73: 39002. Mineralisert tre før behandling med NaOH	s. 60
Figur 74: 39002. Mineralisert tre etter behandling med NaOH	s. 60
Figur 75: 39002. Mineralisert tre før behandling	s. 61
Figur 76: 39002. Mineralisert tre etter behandling. Radial eller tangentialsnitt.	s. 61
Figur 77: 39002. Grunnstoffanalyse før behandling	s. 61
Figur 78: 39002. Grunnstoffanalyse etter behandling	s. 61
Figur 79: 0709-0016x1 (Fløtningsshake). Surring av mineralisert organisk materiale	s. 61
Figur 80: 0709-0016x1. Mineralisert organisk materiale, trolig skinn, før behandling med basisk sulfitt	s. 61
Figur 81: 0709-0016x1. Mineralisert organisk materiale, trolig skinn, etter behandling med basisk sulfitt	s. 61
Figur 82: 0709-0016x1. Mineralisert organisk materiale, trolig skinn, før behandling. Detalj	s. 62
Figur 83: 0709-0016x1. Mineralisert organisk materiale, trolig skinn, etter behandling. Detalj.	s. 62
Figur 84: 0709-0016x1. Grunnstoffanalyse før behandling	s. 62
Figur 85: 0709-0016x1. Grunnstoffanalyse etter behandling	s. 62
Figur 86: Sammenligning av RF hos gjenstand pakket med ESCAL/RP og silikagel.	s. 68

Figurer i vedlegg

Vedlegg I: Testmaterialet før og etter behandling s. 80

Figur 87: 39002 før behandling
Figur 88: 39002 etter behandling
Figur 89: 39161 før behandling
Figur 90: 39161 etter behandling
Figur 91: 40276 før behandling
Figur 92: 40276 etter behandling
Figur 93: A94/136 før behandling
Figur 94: A94/136 etter behandling
Figur 95: 39775 før behandling
Figur 96: 39775 etter behandling
Figur 97: NSM 03010078 x 758 før behandling
Figur 98: NSM 03010078 x 758 blad etter behandling
Figur 99: NSM 03010078 x 758 hjalte etter behandling
Figur 100: 0709-0016x1

Vedlegg II: Prøveuttak s. 82

Figur 101: NSM 03010078 x 758. Prøveuttak hjalte
Figur 102: NSM 03010078 x 758. Prøveuttak hjalte
Figur 103: NSM 03010078 x 758. Prøveuttak
Figur 104: A94/136 prøveuttak
Figur 105: A94/136 prøveuttak
Figur 106: A94/136 prøveuttak

Figur 107: 0709-0016x1 prøveuttak
Figur 108: 39002 prøveuttak
Figur 109: 39002 prøveuttak
Figur 110: 40276 prøveuttak
Figur 111: 40288 prøveuttak
Figur 112: 39775 prøveuttak
Figur 113: 39775 prøveuttak
Figur 114: 39775 prøveuttak detalj
Figur 115: 39161 prøveuttak
Figur 116: 39161 Prøveuttak
Figur 117: 39775 55 kV

Vedlegg III: Røntgenanalyse

s. 84

Figur 118: 39775 65kV
Figur 119: 39775 75kV
Figur 120: 39161 55kV
Figur 121: 39161 65kV
Figur 122: 40276 55kV
Figur 123: 40276 65kV
Figur 124: 39002 55kV
Figur 125: 39002 65kV
Figur 126: 40288 55kV
Figur 127: 40288 65kV
Figur 128: A94/136 100kV
Figur 129: A94/136 125 kV
Figur 130: A94/136 85kV
Figur 131: NSM 03010078 x 758 hjalte 65 kV
Figur 132: NSM 03010078 x 758 65kV
Figur 133: NSM 03010078 x 758 90kV
Figur 134: 39775 kV 65
Figur 135: 39002 kV 65
Figur 136: 39161 kV 65
Figur 137: 40276 65kV
Figur 138: A94/136 125kV
Figur 139: 40288 65kV

Vedlegg IV: Mineralisert organisk materiale

s. 87

Figur 140: A94/136 mineralisert tre tverrsnitt. Stereomikroskop
Figur 141: NSM 03010078 x 758 hjalte. Mineralisert tre. Stereomikroskop
Figur 142: 39775 Mulig mineralisert horn. Elektronmikroskop
Figur 143: 0709-0016x1. Mineralisert skinn. Elektronmikroskop
Figur 142: 0709-0016x1. Mineralisert skinn. Elektronmikroskop
Figur 143: 0709-0016x1. Mineralisert skinn. Elektronmikroskop. Tilbakespredte elektroner

Vedlegg V: XRD spektra

s. 88

Figur 144: XRD prøve 1 før behandling. Goethitt
Figur 145: Prøve 1 etter behandling. Goethitt
Figur 146: Prøve 8 før behandling. Goethitt
Figur 147: Prøve 8 etter behandling. Goethitt
Figur 148: Prøve 9 før behandling. Goethitt
Figur 149: Prøve 9 etter behandling. Goethitt
Figur 150: Prøve 7 før behandling. Goethitt, Plumbojarositt, Magnetitt
Figur 151: Prøve 6 før behandling. Goethitt, jernfosfat
Figur 152: Prøve 7 etter behandling. Goethitt, magnetitt, chalcopyritt

Vedlegg VI: Besvarelse av spørreundersøkelse

s. 93

1. Innledning

Masterprosjektet for høsten 2009 er et materialbasert prosjekt. Det relevante materialet er arkeologisk jern og fokuset er rettet mot korrosjonsproduktene og deres informasjonspotensiale. Relevansen rundt bevaring av dette potensialet vil ses i sammenheng med og settes opp mot nødvendigheten av konserveringsmetoder innen stabilisering og rensing, da det her ligger en iboende problematikk ettersom anvendte konserveringsbehandlinger ofte endrer eller fjerner informasjonen.

Rensing og behandling av arkeologisk korrodert jern er et område innen konservering hvor mye forskning har blitt utført. Tradisjonelt har de utarbeidede rensemetodene blitt utviklet med målsetningen å fjerne eventuelle kloridioner for å stagnere aktiv korrosjon, å fjerne voluminøse korrosjonslag for å avdekke gjenstandens form, eller en kombinasjon av de to nevnte. Mindre fokus har blitt rettet mot informasjonen som kan uthentes av selve korrosjonsproduktene og hvilke konsekvenser denne informasjonen kan få for etiske og praktiske hensyn relatert til rensemetodene. Relevant informasjon som kan uthentes fra korrosjonsprodukter kan i tillegg til selve nedbrytningsproduktenes kjemi og karakter også være metallens originale struktur, gjenstandens originale form, eventuelle innlegg av andre metaller, relaterte materialer i den arkeologiske konteksten og mineralisert organisk materiale eller bevarte rester etter selve det organiske materialet. Dokumentering og eventuelt bevaring av denne formen for informasjon er verdt å strebe etter da et mål med konservering også er å bidra til/ikke utelukke muligheten for videre forskning rundt gjenstandene, og å undersøke og vurdere materialets iboende informasjon forut for en behandling som vil kunne endre denne informasjonen (ICOM Committee for Conservation, 1984). Innen jernkonservering i dag er disse mulighetene ofte begrenset nettopp av rensemetodenes ødeleggelse av forskningsmaterialet og ufullstendig foregående undersøkelse og dokumentasjon.

En erkjennelse av problematikken rundt de motstridende behovene for stabilisering og ivaretagelse av informasjon er viktig, men dette i seg selv har foreløpig ikke resultert i mange konkrete handlingsalternativer. En risiko i denne sammenhengen er en viss handlingslammelse i mangel av en perfekt konserveringsstrategi, noe som ofte innebærer at valget faller på en kortvarig løsning på problemet – oppbevaring under kontrollert RF i påvente av annen behandling. Spørsmålet er i hvilken grad dette er oppnåelig over lengre tid når det er kjent at nivået som må opprettholdes for å sikre stabilitet er en RF på under 12 %

(Scott og Eggert, 2009, 128). Det kan dermed argumenteres for at det vil være fordelsmessig å for det første undersøke og karakterisere kildene til informasjon, og videre teste ut relevante konserveringsbehandlinger for en utledende vurdering av hvordan disse vil påvirke informative fenomener. På bakgrunn av denne innstillingen vil problemstillinger for masterprosjektet være:

1. Hvilken type informasjon kan uthentes fra korrosjonsprodukter og hvilke analysemetoder er egnede for oppdaging og dokumentering av informative fenomener?
2. Hva er dagens behandlingsstrategier for arkeologisk jern og hva er bakgrunnen for valg av behandlingsmetoder?
3. Hvordan vil utvalgte inngripende konserveringsmetoder som har som mål å stabilisere jerngjenstander påvirke informasjon i korrosjonsprodukter?
4. På hvilken måte kan informasjon i korrosjonsprodukter best bevares, og vil en slik bevaring eventuelt gå på bekostning av gjenstandens stabilitet?

Før det under generell metodikk gjøres rede for hvordan disse problemstillingene skal besvares, vil det i oppgavens teoridel presenteres og drøftes den bakgrunnsinformasjon som det er nødvendig å ha en oversikt over for å forstå relevansen av og den faglige konteksten rundt masteroppgavens tematikk. En innledende redegjørelse for jernets nedbrytningsmekanismer og dannelsen av korrosjonsprodukter vil gi en innføring i materialets natur og sette fokus på nødvendigheten av stabilisering og de konserveringsmessige utfordringene i relasjon til dette. Videre følger en gjennomgang av kildene til informasjon i korrosjonsprodukter, deres karakterisering, tolkning og relevans innen gjenstandskunnskap. Denne gjennomgangen er i all hovedsak basert på publiserte konserveringsrelaterte eller arkeologirelaterte undersøkelser på området, og vil danne et sammenligningsgrunnlag for egne undersøkelser i masteroppgaven. Avslutningsvis i teoridelen vil det gås nærmere inn på utvalgte konserveringsmetoder og deres direkte konsekvenser for kildene til informasjon. Metodene er utvalgt på bakgrunn av å være blant de mest brukte og best dokumenterte innen arkeologisk jernkonservering innenfor de siste femti årene. Drøfting av metodenes ulemper og fordeler både i relasjon til masteroppgavens tematikk og deres stabiliseringseffekt vil være en avgjørende faktor for valg av behandlingsmetoder i masteroppgavens eksperimentelle del. Under metodikk presenteres den generelle fremgangsmåten for besvaring av oppgavens problemstillinger. Dette omfatter også bakgrunnen for valg av analyser og behandlinger, i tillegg til en kort gjennomgang av

testmaterialet og dets føringer for forsøksdesign og målsetninger. Videre gis det en praktisk og detaljert undersøkelses og behandlingsbeskrivelse, hvorpå resultater og tolkning av analyser følger direkte etter i et eget kapittel. Ettersom behandlingseffekt vil tolkes og vurderes på bakgrunn av en direkte sammenligning av analyseresultater før og etter behandlinger, presenteres disse parallelt fremfor lineært slik at endringer og konsekvenser lettest mulig kan registreres og vurderes. Sammenslåingen av resultater og tolkning/diskusjon rundt disse i ett kapittel er gjort bevisst da dette anses som behjelpelig for helhetsforståelsen av resultatene. Diskusjonene tilrettelegger for at en konklusjon avslutningsvis skal kunne nås i forhold til behandlingenes relevans sett i forhold til andre og mindre inngripende alternativer som baserer seg på kontrollert oppbevaring.

2. Teori

Nedbrytningsmekanismer og korrosjonsprodukter

Kunnskap innen dannelsen av ulike korrosjonsprodukter vil være et godt utgangspunkt for forståelse rundt informative fenomener som kan finnes i korrosjon. En grunnleggende oversikt over jernets nedbrytningsmekanismer både før og etter utgravning er også relevant for en forståelse for nødvendigheten av konservering/stabilisering og hvilke utfordringer en konserveringsmetode må overkomme

Korrosjon av jern er en elektrokjemisk prosess hvor jernet ved tilstedeværelse av oksygen og fuktighet oksideres til Fe(II) ioner og dermed nedbrytes ved det anodiske området som befinner seg på metalloverflaten. Elektronene som frigis under denne reaksjonen forbrukes ved katoden hvor det i de fleste tilfeller enten foregår en hydrogenutvikling eller en oksygenreduksjon avhengig av pH i konteksten (Selwyn, 2004, s. 21, Turgoose, 1985, s. 14). Katoden er enten et nærliggende område på metalloverflaten eller i korrosjonslaget magnetitt (Knight, 1990, s. 38). Avhengig av redokspotensialet og pH i det omkringliggende miljø, vil det som beskrevet og systematisert av Pourbaix enten foregå en hurtig aktiv korrodering eller en passivering av jernet. Aktiv korrodering foregår dersom kationene dannet ved anoden går ut i omgivelsene som løselige produkter, mens de ved passivering reagerer med anionene i miljøet og danner korrosjonsprodukter som festes til overflaten og danner passiverende lag som undertrykker videre korrosjon. På tross av eventuelle passiverende forhold i den arkeologiske konteksten, er det en generell tendens at arkeologisk jern allikevel vil kunne korrodere. Dette er gjerne som følge av tilstedeværelsen av aggressive ioner, hovedsakelig kloridioner, som vil diffusere innover til metallet selv gjennom passiverende lag for å balansere kationene som beveger seg vekk fra metallet (Cronyn, 1990, s. 168). Kloridionene vil trekkes mot de anodiske områdene hvor de vil konsentreres (Knight, 1982a, s. 51). Det er nettopp akkumuleringen av disse kloridionene som ved å akselerere den elektrokjemiske reaksjonen hovedsakelig forårsaker den hurtige nedbrytningen som ofte registreres hos arkeologiske jerngjenstander.

Korrosjonsproduktene som oppstår hos arkeologisk jern er hovedsakelig avhengig type jern gjenstanden er laget av og det omkringliggende miljøet (Selwyn, McKinnon og Argyropoulos, 2001, s. 110). Turgoose påpeker allikevel at produktene som dannes etter

lengre tid i den arkeologiske konteksten til syvende og sist er de såkalte termodynamiske stabile produktene, først og fremst magnetitt og goethitt eventuelt også andre stabile produkter som f.eks. vivianitt dersom fosfat er tilstede i jorden (Turgoose, 1982b, s. 2). Dette er da også de vanligste produktene å finne på nylig utgravd arkeologisk jern, hvor det mørke magnetittlaget gjerne befinner seg nærmest metallkjernen mens det mer porøse produktet goethitt forekommer ytterst.

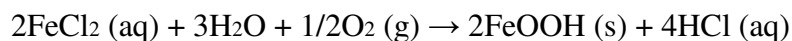
Ettersom nevnte kloridioner gjerne blir ansett som den mest problematiske konserveringsrelaterte faktoren hos arkeologisk jern, er det relevant å gå noe nærmere inn på deres rolle i nedbrytningsprosessen. Det har over lengre tid foregått en viss debatt rundt i hvilken form nevnte kloridioner er tilstede i jerngjenstanden. I følge Turgoose er det tre typer tilstedeværelse som kan vurderes: Kloridionene forekommer innenfor et solid komponent i korrosjonsproduktene, kloridionene adsorberes på overflaten av et solid komponent i korrosjonsproduktene eller kloridionene forekommer i løsning i vannet i korrosjonsproduktenes porer (Turgoose, 1982b, s. 4). At kloridionene forekommer innenfor et solid komponent er en mulighet som trolig kan forkastes på bakgrunn av små muligheter for stabilitet hos kloridholdige solide komponenter forut for utgravning. Pourbaix diagram for jern-vann-klorid systemet demonstrerer at både FeCl_2 og FeCl_3 kun er stabile som solide produkter under pH 2, noe som er lavere enn hva som kan forventes for arkeologiske gjenstander (Turgoose, 1982b, s. 4). North og Pearson foreslår FeOCl som et kloridholdig solid komponent i arkeologisk jern (North og Pearson, 1978, s. 174). Imidlertid vil ikke FeOCl være termodynamisk stabilt ved tilstedeværelse av vann og under normale temperaturer, tilstedeværelsen av FeOCl kan derfor trolig ses bort i fra. At kloridioner adsorberes på overflaten av et solid komponent i korrosjonsproduktene er korrekt men undersøkelser viser at denne formen for tilstedeværelse alene ikke kan forårsake det høye innholdet som er registrert (Turgoose, 1982b, s. 4). Alternativet som gjenstår er at kloridionene forekommer i løsning i vannet i korrosjonsproduktenes porer. Denne vil trolig i størst grad befinne seg i korrosjonslaget nærmest metallkjernen ettersom ionene trekkes mot anoden. Løsningen er i hovedsak jernklorid FeCl_2 med svært lav pH og dette kan sies å være kloridionenes natur forut for utgravning av jernet. Denne løsningen vil i høy grad være styrende for korrosjonsprosessen og korrosjonsproduktene som dannes under de nye forholdene etter utgravning, og som vil kunne få store konsekvenser for jernets videre stabilitet.

Etter utgravning vil korrosjonsproduktene påvirkes av det endrede omkringliggende miljøet. Fra å være i et fuktig og termodynamisk stabilt miljø med lavt oksygeninnhold vil jernet utsettes for fluktuerende RF og høyere oksygennivå. Som nevnt vil kloridionene være tilstede som en sur jernkloridløsning i korrosjonsproduktene porer. I kontakt med luft og lav RF vil korrosjonslagene tørke ut og sprekke opp. Dette tilrettelegger for økt oksygentilgang til løsningen, noe som medfører at den oksideres og danner nye korrosjonsprodukter (Lewis og Watkinson, 2005, s. 2). Det mest relevante produktet i tilknytning til jerngjenstandens videre tilstand kan sies å være akaganeitt, β – FeOOH , som karakteriseres ved en skarp oransje farge og pulveraktig utseende ved lav RF og dråper av grønn rust ved lav RF. Akaganeitt er svært hygroskopisk og vil tiltrekke og holde på fuktighet fra omgivelsene (Selwyn, 2004, s. 107). Gjennom oksidasjon av jernkloridløsningen vil akaganeittkrystaller formes i porer og sprekker og det er den kraftige ekspansjonen av disse krystallene som forårsaker oppsprekking og avflaking av korrodert jern (Knight, 1982, s. 51). Ettersom kloridionene som sagt blir trukket mot anoden vil akaganeitt i størst grad formes i porer mellom metallkjerne og magnetittlag. Dette innebærer at krystalliseringen også kan forårsake oppsprekking og avflaking av det som gjerne blir ansett som gjenstandens originale overflate (Selwyn, Sirois og Argyropoulos, 1999, s. 225).

Akaganeitt er et ustabilt korrosjonsprodukt. Dette medfører at det etter lengre tid vil omdannes til det mer stabile produktet goethitt. Ettersom akaganeitt har kloridioner låst fast i krystallstrukturen fungerer produktet som et reservoar for kloridioner som nettopp ved omdanningen til goethitt vil frigjøres fra strukturen og dermed bidra til fornyet aktiv korrodering av metallkjernen. Av denne grunn er en målsetning med flere stabiliseringsbehandlinger for jern enten å hindre dannelsen av akaganeitt for på denne måten å unngå fastlåsing av kloridionene, eller å fremskynde nedbrytningen av akaganeitt for å muliggjøre utvasking av kloridene som mens låst fast i nevnte krystallstruktur ikke kan fjernes effektivt (Knight, 1990, s. 39, Gilberg og Seeley, 1981, s. 50, Watkinson og Lewis, 2005, s. 2).

Det har også blitt utført forskning rundt den videre rollen til kloridionene etter dannelsen av β – FeOOH -strukturen. Turgoose anser disse kloridionene som kun indirekte påvirkende i den videre korrosjonen av jernet. Med dette menes at deres karakter som løselig salt bidrar til en økt konduktivitet i elektrolytten i den elektrokjemiske cellen, noe som bidrar til å øke hastigheten på den elektrokjemiske korrosjonsprosessen (Turgoose, 1982b, s. 6). Selwyn,

Sirois og Argyropoulos mener derimot at kloridionene har en mer direkte rolle gjennom hva de kaller kloridkorrosjonssyklusen. De påpeker at det ved oksideringen av FeCl₂ til β – FeOOH også dannes HCl (aq) ved reaksjonen:



Saltsyren (HCl) vil videre reagere med gjenværende metall i gjenstanden og produsere mer jernklorid i løsning (FeCl₂) som igjen kan oksidere på samme måte som gjort rede for. (Selwyn, Sirois og Argyropoulos, 1999, s. 219, 226). Dersom kloridionene i arkeologisk jern nettopp forårsaker en slik selvreaktiverende korrosjonssyklus blir den relativt hurtige nedbrytningen ofte observert hos arkeologisk jern forståelig. Når det gjelder hastigheten på korroderingen av jern ved tilstedeværelsen av akaganeitt vil denne øke ved økt RF. Det råder fortsatt noe usikkerhet rundt ved hvilken RF korrodering vil stagnere fullstendig, på tross av at dette er et viktig spørsmål i relasjon til muligheten for trygg oppbevaring/magasinerings av arkeologisk jern (Watkinson og Lewis, 2005, s. 1). Nyere forskning kan allikevel indikere at jern/ β – FeOOH korrosjonsmodellen vil være fullstendig inaktiv ved 12 % RF og at trygg oppbevaring av denne typen jern dermed krever en RF på under nevnte prosent (Watkinson og Lewis, 2005, s. 9).

Informasjon i korrosjonsprodukter

På tross av de selvsagte ulempene ved den elektrokjemiske prosessen gjort rede for, vil det gjennom ulike mekanismer ved prosessen dannes korrosjonsprodukter som kan utgjøre en egen kilde til informasjon rundt gjenstanden. Informasjonen kan bidra til økt kunnskap rundt gjenstandens kontekst, form, tilvirkning og relaterte materialer, og erkjennes i økende grad som en påvirkende faktor i beslutningsprosesser ved valg av konserveringsstrategier. Videre følger en teoretisk gjennomgang og drøfting av utvalgte informative fenomener i korrosjon som også vil undersøkes nærmere i masteroppgavens praktiske forsøk.

Gjenstandens arkeologisk kontekst

Selv om korrosjonsproduktene som dannes i jorden over lengre tid i stor grad er de termodynamisk stabile produktene magnetitt og goethitt, vil også andre produkter kunne oppstå avhengig av jordkjemien og den opprinnelige jernmalmen. Enkelte av disse kan knyttes direkte til den arkeologiske konteksten og gi kulturelt relatert informasjon rundt denne.

For eksempel: Vivianitt er et utpreget blått korrosjonsprodukt som kan oppstå hos arkeologisk jern som har ligget i jord med høyt fosfatinnhold. I arkeologisk sammenheng kan dette fosfatnivået ofte attribueres til nedbrutt beinmateriale eller annet råtnende organisk materiale (Scott og Eggert, 2009, s. 73). Funn av jerngjenstander med vivianitt som et korrosjonsprodukt kan dermed gi en indikasjon på en jordbruksrelatert arkeologisk kontekst eller en gravkontekst. På denne måten vil korrosjonsproduktet kunne veilede arkeologisk forskning, spesielt i tilfeller hvor annet kontekstuekt karakteristisk funnmateriale er beskjedent. Enkelte sulfatholdige korrosjonsprodukter kan også i likhet med vivianitt knyttes til gravkontekster. Dette er spesielt gjeldende for produktet ammoniojarositt, hvor svovelkilden gjerne er nedbrutt organisk materiale og ammoniakken stammer fra bakteriell nedbrytning av proteiner gjennom forråtnelsesprosessen av den gravlagte eller fra nedbrutt tekstil f.eks. av ull (Scott og Eggert, 2009, s. 71; Wang, 2007, s. 129). Ikke alle korrosjonsprodukter er et direkte resultat av en naturlig korrosjonsprosess. Det skarpt rødfargede produktet hematitt er blitt funnet på flere arkeologiske jerngjenstander, og er da i de aller fleste tilfeller et resultat av at jerngjenstanden har blitt brent i fri luft ved høye temperaturer (Fell, 2004, s. 517). I arkeologisk sammenheng kan dette tilskrives en tilfeldig brann eller en intensjonell inkludering av gjenstandene i et kremasjonsbål. I begge tilfeller vil korrosjonsproduktet kunne være veiledende for tolkning av den arkeologiske konteksten, og til en viss grad også bidra til en økt forståelse av selve gjenstanden og dennes kulturelle betydning. Også det noe sjeldnere korrosjonsproduktet wüstitt kan dannes ved høye temperaturer. I motsetning til hematitt er wüstitt ustabil og vil nedbrytes til magnetitt med mindre jernet blir hurtig nedkjølt etter brenning (Fell, 2004, s. 517). Dersom wüstitt allikevel blir identifisert som et korrosjonsprodukt åpner dette dermed for andre tolkninger enn om kun hematitt er tilstede. Et viktig poeng i relasjon til jernets stabilitet er at drøftede produkter vil ha en bevarende og passiverende effekt. Ivaretagelse av korrosjonen kan dermed argumenteres for både på et informativt og bevaringsmessig grunnlag.

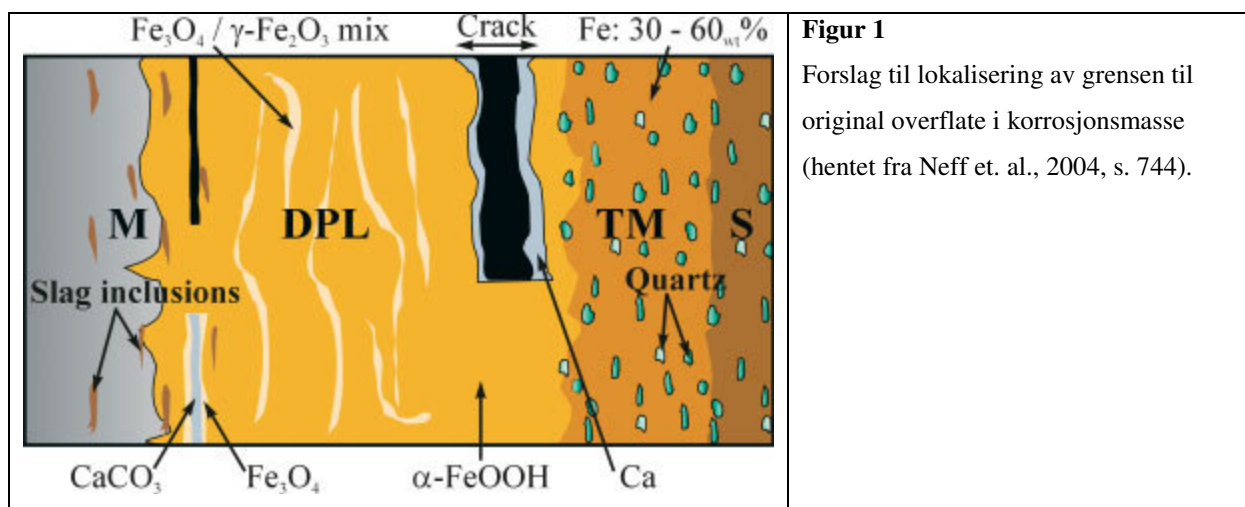
Blant de vanligste og mest stabile korrosjonsproduktene er det verdt å drøfte produktet magnetitt nærmere. Ikke nødvendigvis på bakgrunn av produktets relevans innen tolkninger rundt arkeologisk kontekst, men heller som en respons til dets omdiskuterte rolle som en markør for gjenstandens originale overflate.

Gjenstandens originale overflate

For svært korroderte arkeologiske jerngjenstander kan opprinnelige form og dermed opprinnelig bruk og betydning være skjult i korrosjonsmassen. Denne erkjennelsen ble gjort allerede på begynnelsen av 1900-tallet, da enkelte forskere presenterte begrepet og ideen om tilstedeværelse av en "original overflate" i selve korrosjonen og skilt fra metallkjernen som veiledende for en gjenstands opprinnelige form (Bertholon, 2001a, s. 6). Konseptet original overflate fikk videre konsekvenser for rensemetoder innen metallkonservering, ettersom metodene forut for dette i all hovedsak innebar en stripping av all korrosjon ned til den gjenværende metallkjernen som da ble ansett som ekvivalent til gjenstandens opprinnelige tilstand (Bertholon, 2001a, s.10). På tross av det nye konseptets aksept og relevans er det allikevel ikke før relativt nylig at en mer vitenskapelig tilnærming har ført til innledende forskning rundt en presis definisjon og identifikasjon av en slik overflate eller avgrensning. Dette har medført at overflaten det har blitt rensed ned til lenge var, og til en viss grad fortsatt er, relativt subjektiv. For å muliggjøre en mer objektiv tilnærming er det for det første relevant å definere hva som menes med original overflate, og for det andre å drøfte og konkretisere hvilke karakteristikk som kan danne grunnlaget for en identifisering og lokalisering av overflaten.

En foreslått definisjon av en gjenstands originale overflate, er den gjeldende overflaten tilstede på tidspunktet gjenstanden blir en del av den arkeologiske konteksten (Bertholon, 2001b, s. 171). Samtidig er det et faktum at denne overflaten vil endres i den arkeologiske konteksten og at den dermed ikke kan gjenopprettes. Hva man i virkeligheten kan forsøke å lokalisere er heller *grensen* til den en gang originale overflaten og ikke denne i seg selv (Bertholon, 2001b, s. 171). Den videre utfordringen er da å avgjøre hvilke karakteristikk eller markører i korrosjonsstratigrafien som er relevante for identifisering av grensen. På dette området er det fremmet flere forslag, både av kjemisk og fysisk natur. Blant de oftest beskrevne markører kan det innenfor den kjemiske kategorien nevnes observasjonen av en klart definert grense mellom det mørke og magnetiske korrosjonsproduktet magnetitt og overliggende produkter (Turgoose, 1989, s. 30; Knight, 1990, s. 40). I de fleste tilfeller beskrives dette overliggende produktet som det brunoransje laget goethitt, mens enkelte mener det heller er det mørkt brune og magnetiske produktet maghemitt (Knight, 1982, s. 50). For sistnevnte teori kan det argumenteres for at lokaliseringen av overflaten som skal renses vil bli spesielt utfordrende ettersom produktene magnetitt og maghemitt synes å ha påfallende like karakteristikk. Andre igjen mener maghemitt derimot befinner seg iblandet i

magnetittlaget som marmorerende striper/inklusjoner (Neff et. al., 2004, s. 745). Alternativt beskrives grensen kun som den øvre grensen av et ” utpreget kompakt korrosjonslag” som ligger direkte over metallkjernen, uten at det gjøres forsøk på å identifisere dette produktet (Cronyn, 1990, s. 184). En beskrevet fysisk markør er tilstedeværelsen av sandpartikler og organisk materiale i korrosjonslag som ligger over grensen for original overflate, og mangelen på sandpartikler og organisk materiale under grensen til den originale overflaten (Neff et. al., 2004, s. 740; Cronyn, 1990, s. 326) (figur 1).



På tross av et visst antall samsvarende beskrivelser er det fortsatt en tendens innen konserveringslitteraturen at begrepet original overflate anvendes i større grad enn det forklares eller beskrives. Enkelte konservatorer stiller seg til og med skeptiske til hvorvidt det i det hele tatt er mulig å skille ut en konkret original overflate som det er gjennomførbart å rense frem (Organ, 1977, s. 137). Et argument for dette er tendensen til oppløsning av overflaten gjennom ekspansjonen av andre produkter (Scott og Eggert, 2009, s. 97). Det vil derfor trolig være relevant å utføre strukturerte sammenlignende undersøkelser blant flere gjenstander fra ulike jordsmonn og med ulike stratigrafier for å kunne etablere en anvendelig og mest mulig objektiv identifiseringsmetode og tilnærming til rensing.

Gjenstandens tilvirkning

I relasjon til gjenstandskunnskap innen arkeologisk jern, har fremstillings og bearbeidingsprosesser vært fokus for forskning. Jern som materiale kan under tilvirkningsfasen av en gjenstand bli manipulert på måter som gir denne gjenstanden forskjellige egenskaper og karakteristikk. Eksempler på dette er karburisering under smiprosessen for å gjøre smijern til stål, variasjoner innen herding, hamring og avkjøling for

tilpasning av styrke og fleksibilitet, og avansert mønstersveising for en kombinasjon av estetiske hensyn og bruksrelaterte årsaker. Denne formen for manipulasjonen vil kunne etterlate spor i materialet som kan uthentes gjennom analyser og i mange tilfeller bidra til informasjon og kunnskap rundt objektets historie, mulig datering, opprinnelse og sannsynlig bruk (Scott, 1991, s. ix). Metallografiske tendenser vil også kunne gi en generell indikasjon på hvor teknologisk avansert en gjeldende kultur var i relasjon til produksjon av jerngjenstander. Hovedkilden til informasjonen har tradisjonelt sett vært selve metallkjernen i den arkeologiske gjenstanden, men forskning har demonstrert at også korrosjonsprodukter kan bidra til mye av den samme informasjonen. Dette faktum er relevant og fordelsmessig både fordi det gir et alternativ til svært inngripende prøveuttak i metallet, og ikke minst ettersom det innebærer at teknologisk informasjon kan oppnås selv for svært korroderte gjenstander uten gjenværende metallkjerne (Scott, 1989, s. 13; Tylecote og Black, 1980, s. 92). Det er ikke uvanlig at jernmaterialet fra enkelte arkeologiske kontekster er representert kun ved fullstendig mineraliserte jerngjenstander. Slike tilfeller demonstrerer godt verdien av å kunne uthente teknologisk informasjon fra korrosjonsprodukter (Scott, 1989, s. 13).

Den teknologiske informasjonen i korrosjon kan være tilgjengelig både på mikro og makronivå. På makronivå er det hovedsakelig kunnskap rundt sveiseteknikk som er relevant. Sveising innebærer sammenføring av to eller flere jernbiter ved hjelp av varme og press (Lang og Middleton, 2005, s. 63). Ved avansert sveising benyttes gjerne jernbiter med noe forskjellige egenskaper, ofte som et resultat av ulikt karboninnhold. På denne måten kan det for den relevante gjenstanden, eksempelvis et sverd, oppnås en ønsket balanse av egenskaper som styrke, fleksibilitet og skarphet. I den arkeologiske konteksten vil urenheter i sveiselinjene og ulikt karboninnhold eller fosforinnhold i de ulike delene medføre uhomogen korrodering som ofte resulterer i at sveiselinjer og avanserte sveisemønstre bevares i korrosjonen og kan synliggjøres under røntgenundersøkelse (Lang og Middleton, 2005, s. 65). På mikronivå vil teknologisk informasjon bevares i jernets metallografiske struktur. Disse mikrostrukturene dannes som et direkte resultat av jernets opprinnelige sammensetning, karboninnhold og termiske og mekanisk bearbeiding (Samuels, 1999, s. iii). Nevnte faktorer tolkes på bakgrunn av mikrostrukturens karakteristiske kornstørrelser, mønstre og slagginkluderinger, som sammenlignes opp mot etablerte fasediagrammer for jern og dets legeringselementer (Scott og Eggert, 2009, s. 3). Bakgrunnen for korrosjonsproduktene relevans i denne sammenheng ligger i at strukturene i metallet som korrosjonen erstatter ofte beholdes i form av mindre inkluderinger i korrosjonsmassen (Scott, 1989, s. 8). Disse

inklusionene eksisterer enten som intakte metallkorn, delvis fossiliserte strukturer hvor mer enn 50 % av kornområdene har blitt omdannet til korrosjonsprodukter, eller fullstendig fossiliserte strukturer hvor strukturens form alene er bevart ved korrosjon (Scott, 1989, s. 12).

Gjenstandens dekor

Flere arkeologiske jerngjenstander i diverse museumssamlinger demonstrerer at innlegg av andre metaller har vært blant de mest vanlige dekorasjonsformene for jerngjenstander med en viss status. Å dekke jerngjenstander med et tynt lag av et annet og mer nobelt metall ble også utført i den hensikt å gjøre jerngjenstanden mindre utsatt for korrodering (Corfield, 1985, s. 40). Blant innleggsmetallene har kobber, tinn, sølv og i mindre grad gull vært anvendt (Lang og Middleton, 2005, s. 69; Corfield, 1985, s. 40). Innleggsdekorasjon kan sies å ha arkeologisk relevans også utenom det selvsagte estetiske aspektet, ved å være kilde til bl.a. gjenstandsteknologi, typologi og stilhistorie. Det kan dermed argumenteres for at innleggsmetaller er en faktor ved gjenstanden med like stor betydning som metallkjernen av jern som dekoren opprinnelig var i direkte kontakt med. Denne påstanden er viktig i forbindelse med behandlingsinnstillinger til slike kompositte metallgjenstander på bakgrunn av at dekoren med all sannsynlighet ikke lenger vil være lokalisert direkte på metallkjernen etter århundrer i en arkeologisk kontekst, men heller befinner seg et sted i korrosjonsmassen. Dette som et resultat av aktiv korrodering mellom jernoverflaten og innleggsmetallet som over tid vil presse sistnevnte metall opp fra det opprinnelige underlaget. I forbindelse med det tidligere drøftede konseptet original overflate, er det relevant hvordan undersøkelser har vist at eventuelle metallinnlegg i de aller fleste tilfeller vil ligge direkte ovenpå grensen for original overflate, hvorenn denne måtte befinne seg i korrosjonsmassen (Cronyn, 1991, s. 326; Bertholon, 2001b, s. 175). Som en konsekvens av at innleggsmetallene er mer noble enn jernet vil de som nevnt være mer korrosjonsresistente. Nærheten til det mindre noble jernet vil i tillegg kunne forårsake galvanisk korrosjon som innebærer at det mest noble metallet vil korrodere saktere enn normalt på bekostning av det minst noble som vil korrodere raskere (Cronyn, 1990, s. 171). Dette kan resultere i at svært lite er igjen av jerngjenstandens metallkjerne, mens innleggsdekorasjonen ligger relativt godt bevart i korrosjonslagene og ofte fremstår klart og detaljert ved røntgenundersøkelse.

Tilknyttet organisk materiale og mineralisert organisk materiale

Med unntak av for anaerobe arkeologiske kontekster vil det arkeologiske funnmaterialet i stor grad være skjevt representert. Dette har sammenheng med at organisk materiale som tre,

skinn, tekstil og bein brytes relativt hurtig ned av mikroorganismer dersom oksygen er tilstede (Cronyn et. al., 1985, s. 24). Slike forhold legger dermed grunnlaget for ufullstendige arkeologiske tokninger. På bakgrunn av dette kan det argumenteres for at fenomenet mineralisert organisk materiale er en svært relevant arkeologisk ressurs, og i mange tilfeller en unik kilde til informasjon både rundt kontekst og eventuelt gjenstanden materialet er tilknyttet. Sistnevnte hovedsakelig i relasjon til identifikasjon av materialbruk og gjenstandsteknologi.

Mineralisering av organisk materiale kan finne sted i tilfeller hvor det organiske materialet ligger nært tilknyttet et jernobjekt i den arkeologiske konteksten (Edwards 1989: 3). Denne typen bevaring av materialets struktur er avhengig av at det relevante jernobjektet korroderer relativt raskt slik at korrosjonsproduktene/metallsaltene rekker å dekke over eller trenge inn i det organiske materialet før dette nedbrytes av mikroorganismer (Watson, 1988, s. 65). Mekanismene bak mineralisering er ikke fullstendig avdekket, men undersøkelser indikerer at tre forskjellige former for bevaring kan oppstå; bevaring av materialet under et belegg av metallsalter, bevaring ved metallsaltenes erstatning av struktur, eller bevaring gjennom impregnering av metallsalter (Watson, 1988, s. 67). Førstnevnte form for bevaring innebærer at det faktiske organiske materialet blir bevart under et tynt lag metallsalter som hindrer mikrobiologisk aktivitet. Dette fenomenet er vanligst i forbindelse med kobber eller blykorrosjon, men er også registrert i relasjon til jerngjenstander. Bevaring ved erstatning av struktur foregår dersom det organiske materialet blir konsolidert av metallsaltene og deretter brytes ned slik at kun en avstøpning av materialet etterlates i korrosjonen. En slik avstøpning omtales alternativt som en pseudomorf (Cronyn et. al., 1985, 24), og er mest alminnelig for tremateriale i kontakt med jern (Keepax, 1989, s. 15). Ved bevaring gjennom impregnering av metallsalter binder metallionene seg til det organiske materialets molekyler og bevarer på denne måten materialets indre struktur. Denne formen for bevaring er vanligst for bein, gevir, horn og lær. Materialenes struktur vil gjerne fremstå uendret under mikroskopisk visualisering, men bevaringsformen resulterer i en svært skjør og pudderaktig karakter (Watson, 1988, s. 67). Relevansen av å skille mellom de ulike bevaringsformene ligger både i forståelsen av hvordan de kan oppdages og tolkes for å identifisere materialet, og til en viss grad også hvordan de kan forventes å reagere på undersøkelse og behandling. Eksempelvis vil det for materiale bevart ved impregnering som et resultat av dets skjøre karakter trolig være vanskeligere å gjøre prøveuttak enn for materiale bevart under et belegg av korrosjon. For sistnevnte nevnes det at undersøkelse ofte kan utføres på tradisjonelt vis etter lokal fjerning av

korrosjonsbelegget med en kompleksbinder (Watson, 1988, s. 65). Selv om bevaringsformen på denne måten kan være veiledende for undersøkelsesstrategi, kan det påpekes at mineralisert organisk materiale i flere tilfeller kan være bevart ved en kombinasjon av de tre nevnte formene og at bruk av kompleksbinder dermed er risikabelt.

Ettersom organisk materiale kan bli mineralisert i nær tilknytning til korroderende jernobjekter uavhengig av en opprinnelig intensjonell forbindelse mellom de to materialene, er det relevant å operere med ulike kategorier for å tilrettelegge for korrekte tolkninger av materialet, og for å ha et kategoriseringssystem å henvise til rundt eventuelle beslutninger innen behandling og bevaring. Edwards klassifiserer materialet innenfor tre forskjellige kategorier; Naturlige materialer, organiske gjenstander i forbindelse med metaller, og kompositte gjenstander av metall og organisk materiale (Edwards, 1989, s. 3). Innenfor førstnevnte kategori finnes naturlige materialer som enten har hatt en tilfeldig tilknytning til jernet, f.eks. plantematerialer og insekter i den omkringliggende jorden, eller naturlige materialer som har en bevisst tilknytning til jernet. Eksempler på sistnevnte kan være gress bevisst nedlagt som et dekke over gravgods av jern, eller hud fra mennesket gravlagt sammen med jerngjenstander. Organiske gjenstander i forbindelse med metaller kan også være kontekstuelle tilfeldige eller intensjonelle. Organiske gjenstander kan havne tilfeldig ved siden av jerngjenstander i møddinger/søppelgroper, mens tekstilfibre kan bli mineralisert ved bevisst tilknytning til f.eks. jernspennen som var festet på tekstilet, og skinnslirer kan bli bevart i forbindelse til jernsverdet i dem. Blant kompositte gjenstander kan mineralisering forekomme av bl.a. knivhåndtak og sverdhalter i bein, horn eller tre (English Heritage 2008 URL). Å være seg bevisst disse ulike scenarioene er et godt utgangspunkt for å vurdere den kontekstuelle og informative relevansen til det mineraliserte materialet, noe som videre kan være veiledende innen valg av konserveringsstrategi.

Nødvendigheten av konservering versus bevaring av informasjon

Stabilisering av arkeologisk jern har lenge vært et erkjent konserveringsmessig problem som har blitt forsøkt løst med ulike metoder. Som gjort rede for under ”nedbrytningsmekanismer og korrosjonsprodukter” er det hovedsakelig tilstedeværelsen av kloridioner og korrosjonsproduktene relatert til disse som forårsaker den hurtige og svært ødeleggende nedbrytningen av jernet. Målet med de aller fleste inngripende stabiliseringsbehandlingene

utviklet har dermed vært å fjerne kloridionene i korrosjonsproduktene, hovedsakelig ved ulike former for utvasking (Knight, 1997, s. 37). Den begrensede suksessen på dette området forklares ofte som en konsekvens av strukturen til korrosjonsproduktet akaganeitt, som effektivt låser fast kloridionene slik at disse ikke vil kunne fjernes ved enkel vasking alene (Selwyn, 2004, s. 296). Responsen til dette har dermed bl.a. vært utviklingen av behandlingsmetoder som bryter ned akaganeitt (Sjøgren og Buchwald, 1991, s. 163). Mekanismene bak denne strategien og en grundigere gjennomgang av tradisjonelle behandlingsmetoder og deres konsekvenser i relasjon til masterprosjektets tematikk vil gås nærmere inn på fra s. 17. Sistnevnte vil fokusere spesielt på konsekvensene for informasjonskildene i korrosjon redegjort for. Forut for dette er det relevant å kort drøfte et grunnleggende dilemma innen jernkonservering; fjerning av korrosjon versus ivaretagelse av korrosjon. Motsetningen mellom disse to alternativene kan synes dramatisk i konserveringssammenheng i den forstand at det i realiteten mellom motpolene finnes graderinger innen fjerning og ivaretagelse. Å midlertidig forholde seg til en enten/eller situasjon kan allikevel være givende ettersom det vil understreke og poengtere fordeler og ulemper som i varierende form og grad vil være tilstede uansett valg av behandlingsmetode.

Det kan argumenteres for at fjerning/rensing av korrosjon har sine fordeler. Caple påpeker at avsløring/avdekking (*revelation*) av gjenstanden er et av hovedmålene innen konservering. Denne avdekkingen innebærer i de fleste tilfeller rensing for å fremvise gjenstandens originale form på et tidspunkt i fortiden, dette for å gi betrakteren mulighet til å få et visuelt inntrykk og forståelse av gjenstandens opprinnelige funksjon og betydning (Caple, 2000, s. 33). Dette argumentet for rensing stiller sterkt, ikke minst med tanke på at selve funderingen for ivaretagelse og bevaring av arkeologiske gjenstander bl.a. er for at disse skal være til glede og informasjon for allmennheten. For den allmenne betrakteren vil trolig en jerngjenstand renses så dens opprinnelige form er forståelig oppfattet som mer informativ enn en jerngjenstand hvis form er fullstendig skjult i korrosjonsprodukter. Det kan med andre ord sies at gjenstandens visuelle verdi er tungtveiende. Fjerning av korrosjon kan også være relevant på et bevaringsmessig grunnlag. Ivaretagelse av korrosjonsmassen vil i de fleste tilfeller innebære ivaretagelse av produkter som fungerer som et reservoar for kloridioner. Gjennom nedbrytning over tid av de kloridholdige produktene vil kloridionene frigis og stimulere ny korrosjon av metallkjernen (Watkinson & Lewis, 2005, s. 2). Fjerning av korrosjon vil fjerne deler av kilden til ustabiliteten hos arkeologisk jern.

Stabiliseringsargumentet for fjerning av korrosjon kan allikevel nyanseres. Riktignok stemmer det at det ofte er kloridholdige korrosjonsprodukter tilstede i den voluminøse korrosjonsmassen som er relevant å rense vekk med tanke på avdekking av form. Fjerning av denne massen ned til original overflate vil allikevel ikke løse stabilitetsproblemet ettersom det også i stor grad samles kloridioner mellom metallkjernen og produktet relatert til original overflate (Réguer et al., 2007, s. 2732; Wang, 2007, s. 129). Enkelte forskere påpeker dessuten at fjerning av voluminøs korrosjon faktisk kan være en stabiliseringsmessig ulempe, ettersom dette tilrettelegger for disse kloridionenes tilgang på oksygen og fuktighet.

Ivaretagelse av korrosjonslagene kan til en viss grad ha en positiv effekt ved å fungere som en diffusjonsbarriere for oksygen og fuktighet (Wang, 2007, s. 132). Av andre argumenter for ivaretagelse av korrosjon kan det nevnes de viktige og mye drøftede etiske konserveringsprinsippene mulighet for rebehandling og fokus på minimale inngrep. Ved vurdering av disse prinsippene er det relevant å ta med i betraktning at de i stor grad kom som en reaksjon på tidligere konserveringsholdninger som ofte resulterte i overrensing (Caple, 2000, s. 65). I dag kan det sies at prinsippene ikke nødvendigvis følges slavisk, men vurderes i sammenheng med bl.a. gjenstandstype, funksjon og kontekst. De er allikevel aktuelle å inkludere i en argumentasjon rundt rensing av jern. Fjernes korrosjon er rebehandling kun delvis mulig. Behandlinger med andre mål enn direkte avdekking av form, eksempelvis avsalting, er selvsagt gjennomførbart. Er gjenstanden overrenset eller grensen til original overflate feiltolket kan dette derimot medføre en omforming av gjenstanden som ikke er mulig å rebehandle (Blackshaw, 1982, s. 18). Dersom fokus for en behandling skal være minimal inngripen, er fjerning av korrosjon ikke den egnede løsningen. Minimal inngripen kan forstås som å gjøre så lite som mulig i samsvar med gjenstandens fremtidige sikkerhet (Caple, 2000, s. 65). Fjerning av korrosjonslag kan ikke påstås å innebære å gjøre så lite som mulig, det vil som nevnt heller ikke garantere noen fremtidig sikkerhet for gjenstanden.

Ivaretagelse av korrosjon er helt klart en minimalistisk tilnærming. Hvorvidt det kan gjøres i overensstemmelse med gjenstandens fremtidige sikkerhet er diskutabelt og vil innebefatte en vurdering av bevaringsalternativer som miljøkontrollert oppbevaring og undersøkelser rundt effekt og påvirkning av enkelte avsaltingsmetoder. Dette kan gjøres i sammenheng med en ytterligere relevant faktor innen drøfting av ivaretagelse eller fjerning av korrosjon; betydningen av korrosjonsmassen som en kilde til informasjon rundt gjenstanden. Denne faktoren er knyttet til gjenstandens informative verdi, og har en betydelig plass i definisjonen av konserveringens målsetning, ettersom informasjonsavdekking her settes på lik linje som avsløring og bevaring (Caple, 2000, s. 33). Etter å ha kommet frem til at både minimal

inngripen, fremtidig sikkerhet/stabilitet og gjenstandens informasjonspotensial er viktige faktorer i konserveringssammenheng, vil det være relevant å gå nærmere inn på hvordan aktuelle konserveringsmetoder påvirker disse.

Konsekvenser av konserveringsbehandlinger

Mekanisk rens

Mekanisk rensing av korrodert jern er en relativt vanlig praksis innen jernkonservering, og kan utføres med ulike redskaper som meisler, skalpell og sandblåsing avhengig av hvor tykt og hardt korrosjonslaget er og hvor robust jerngjenstanden er (Blackshaw, 1982, s. 17). Som allerede gått inn på er målet med mekanisk rensing ikke å fjerne all korrosjon, men heller å eksponere det som antas å være grensen til gjenstandens originale overflate. I relasjon til avdekking av original overflate argumenteres det gjerne for at mekanisk rens er det mest etiske og relevante konserveringsalternativet. Dette på bakgrunn av at metoden tilrettelegger for størst grad av kontroll fra operatørens side, noe som minsker risikoen for uønsket eksponering av metalloverflaten eller fjerning av original overflate (Blackshaw, 1982, s. 18). Den samme argumentasjonen for kontroll kan sies å være gjeldende for relevant informasjon i korrosjonslagene som mineralisert organisk materiale og innlegg av andre metaller (Cronyn, 1990, s. 173, 191). Ved mekanisk rensing vil slike informative fenomener kunne oppdages under rensprosessen, i motsetning til ved bruk av metoder som elektrolyse eller plasmareduksjon hvor undersøkelse under rensingen ikke er mulig på samme måte. På tross av fordelene ved mekanisk rensing er som nevnt en stor ulempe ved metoden dens minimale effekt på stabilisering av jernet. Også etter ferdig behandling vil kloridionene være tilstede i gjenstanden og forårsake aktiv korrosjon og nedbytning. En ulempe er også at fjerning av korrosjonslag kan medføre fjerning av kilden til metallografisk informasjon i de områdene som en gang var ytterkantene på gjenstanden og dermed kan ha hatt forskjellige metallografiske strukturer fra de som er tilstede i det som er igjen av metallkjernen.

Utvasking av klorider

Vasking eller koking av arkeologisk jern i destillert vann er en tradisjonell avsaltingsmetode med lang historie som behandlingsstrategi. Formålet er å vaske ut kloridionene, noe som har vist seg å fungere for frie uoksiderte jernklorider men ikke for kloridionene som er låst fast i akaganeittnettverket eller absorbert i mikrosprekker (Scott og Seeley, 1987, s. 73; Knight, 1997, s. 38). Som et resultat av dette har undersøkelser demonstrert at selv om vasket jern har en noe bedre stabilitet enn jern uten noen form for behandling, er dette en behandlingsmetode

som har liten reell konserveringseffekt (Keene og Orton, 1985, s. 140; Selwyn og Logan, 1993, s. 806). Vurdert i sammenheng med påvirkning på informative fenomener i korrosjonslag kan det riktignok argumenteres for at metoden er egnet ved å være svært lite inngripende i kilder til gjenstandsteknologisk kunnskap. Den vil ikke ha en skadelig effekt på metallografisk struktur, original overflate, eventuelle innleggsmetaller eller organiske elementer i samme grad som enkelte kjemiske behandlinger og varmebehandlinger (Scott og Seeley, 1987, s. 73). Metodens minimale stabiliseringseffekt i tillegg til det faktum at jernet vil aktivt korrodere under behandling med mindre den utføres i inert atmosfære, vil allikevel veie negativt i en slik grad at metoden ikke kan anbefales på en generell basis.

Elektrolyse

Elektrolytisk reduksjon, også kalt elektrolyse, er en elektrokjemisk reaksjon drevet ved ekstern strømtilførsel. I en elektrolysecelle vil relevant elektrolytt for jern være f.eks. natriumhydroksid, stålplater vil fungere som anoder mens katoden i midten vil være det relevante jernobjektet. Jernobjektet blir deretter koblet til den negative terminalen på strømkilden og anodene tilkoblet den positive terminalen. Ved tilførsel av strøm vil elektroner strømme til de positivt ladede anodene hvor oksidering foregår og oksygen utvikles, mens positive metallioner strømmer til den negativt ladede katoden (jernobjektet) hvor reduksjon foregår og hydrogen utvikles. For konservering av korrodert jern har metoden tre samtidige effekter; mekanisk fjerning av korrosjonslag ved utviklingen av hydrogen, reduksjon som omvender mindre stabile korrosjonsprodukter til mer stabile korrosjonsprodukter, trolig magnetitt, og avsalting som foregår ved at klorider og andre anioner trekkes ut av metallet og migrerer mot den positivt ladede anoden (Worth, Keith og Rodriguez, 2001, s. 68).

Strømtettheten påvirker i hvilken grad hydrogenbobler utvikles ved katoden og derfor også i hvilken grad objektet blir mekanisk rensert for korrosjon. Undersøkelser viser at elektrolyse bidrar til en relativt effektiv avsalting og stabilisering av jernet (Keene og Orton, 1985, s. 141; Selwyn og Logan, 1993, s. 807). Bakgrunnen for dette er trolig kombinasjonen av reduksjon som bryter ned akaganeitt og dermed frigjør fastlåste kloridioner, og uttrekkingen av disse ved den elektrokjemiske reaksjonen. Ulempene ved metoden blir imidlertid omfattende i relasjon til påvirkning på informasjonspotensialet i korrosjonslagene og graden av inngripen i materialet generelt. Hydrogenutvikling mellom metallkjerne og korrosjonslag medfører ofte ukontrollert oppløsning av korrosjon og tap av original overflate selv i tilfeller hvor strømstyrken settes lavt nettopp for å unngå dette (Scott og Eggert, 2009, s. 136). Den generelle mangelen på kontroll ved fjerning av korrosjon innebærer dessuten at eventuelle

rester etter metallinnlegg, organisk eller mineralisert organisk materiale ødelegges fullstendig. Resultatet av behandlingen er ofte en gjenstand strippet for original overflate og med store områder eksponert metall som tilrettelegger for ny aktiv korrosjon (Keene og Orton, 1985, s. 141). På bakgrunn av dette anses metoden i dag som mindre relevant for arkeologisk smijern innenfor flere konserveringsmiljøer (Knight, 1997, s. 36; Cronyn, 1990, s. 191).

Gass plasma reduksjon

Gass plasma reduksjon er i likhet med elektrolyse en konserveringsmetode som tar sikte på å stabilisere jernet ved nedbrytning av kloridholdige korrosjonsprodukter gjennom en reduksjonsprosess. Mens reduksjonen i elektrolyse skjer i en vannholdig elektrolytt, er det ved plasmareduksjon gjerne hydrogengass som fungerer som elektrolytt (Sjøgren og Buchwald, 1991, s. 161). Undersøkelser har demonstrert at både akaganeitt, goethitt og maghemitt reduseres til magnetitt under behandlingen, og at kloridioner fjernes fullstendig. Tester under høy RF direkte etter behandling har også bekreftet at metoden stabiliserer jernet (Sjøgren og Buchwald, 1991, s. 166). Andre undersøkelser rundt langtidseffekt viser riktignok at aktiv korrosjon har manifestert seg i flere tilfeller, noe som sår tvil rundt graden av stabilitet (Scott og Eggert, 2009, s. 137; Schmidt-Ott og Boissonnas, 2002, s. 81). En klar ulempe ved metoden er tilførselen av strøm som forårsaker utvikling av høy varme under behandlingen. Tidlig anvendelse av gassreduksjon på 1960-tallet opererte med temperaturer mellom 600-700 °C (Scott og Eggert, 2009, s. 136). Slike temperaturer vil ha en ødeleggende effekt på metallografisk informasjon i metallkjernen og metallinkluser og fossiliserte strukturer i korrosjonsproduktene ettersom faseendringer vil oppstå allerede rundt 300 °C (Scott og Eggert, 2009, s. 138; Tylecote og Black, 1980, s. 95). Konsekvensene vil være en fullstendig mangel på informasjonskilde til kunnskap rundt det gjenstandstekniske aspektet ved objektet, da det ikke lenger vil være mulig å gjøre tolkninger rundt kornkarakteristikker, karboninnhold eller sveiseteknikk. Metoden utvikles riktignok stadig, og forbedringer i relasjon til metallografi demonstreres gjennom forsøk hvor temperaturene har holdt seg rundt 200 °C, noe som har vist seg å etterlate metallografiske strukturer uendret (Scott og Eggert, 2009, s. 138; Sjøgren og Buchwald, 1991, s. 168). På tross av at tilpasning av metoden for bevaring av metallografisk informasjon, vil dens påvirkning på andre informative fenomener være svært uheldig. I likhet med annen korrosjon vil også mineralisert organisk materiale bli redusert under behandlingen, noe som gjør materialet svært sprøtt og i verste fall umulig å tolke (Schmidt-Ott og Boissonnas, 2002, s. 84). Organisk materiale vil, dersom det ikke ødelegges av behandlingen, tørke ut og krympe, innlegg av kobber og sølv vil utsettes for fargeendring

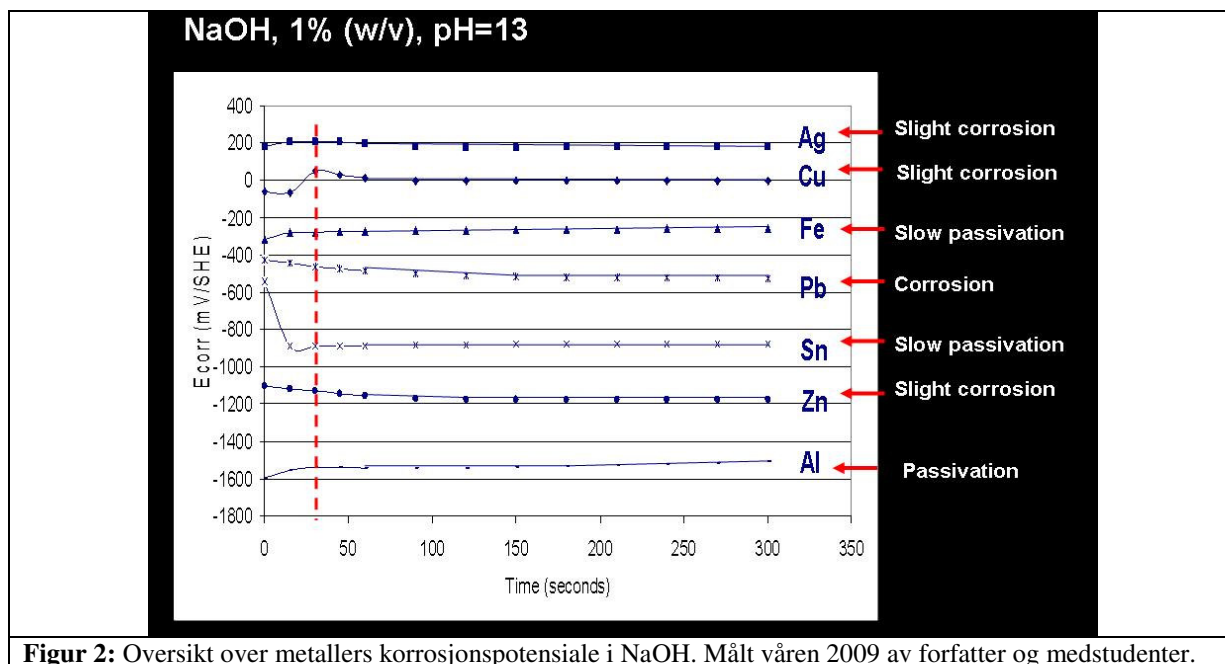
og tinn vil kunne smelte. Det er også stilt spørsmål rundt metodens innvirkning på lokalisering av original overflate, ettersom denne antas å være relatert til korrosjonsproduktet magnetitt og metoden innebærer en reduksjon av flere produkter hvor sluttproduktet i alle tilfeller ser ut til å være magnetitt (Sjøgren og Buchwald, 1991, s. 166). Det argumenteres dermed for at den originale overflatens avgrensning kan være vanskelig å skille ut, og en mangel på overflatekontur kan forventes under røntgenundersøkelse (Tylecote og Black, 1991, s. 92). Alternativt argumenterer andre for at metoden bidrar til en enklere avdekking av denne overflaten da en naturlig delaminering ofte forekommer i grenseflaten (REF).

Natriumhydroksid

Som gjort rede for har erfaringer og undersøkelser vist at avsaltingsbehandling i vann alene har begrenset stabiliseringseffekt og dessuten gjerne medfører hurtig aktiv korrodering under behandling. Alternative løsninger for utvaskingsbehandlinger har derfor blitt utforsket. Ettersom jern er stabilt i basiske løsninger har avsalting i natriumhydroksidløsning blitt fremmet som en relevant behandlingsmetode. Fordelen ved basisk løsning kan trolig forklares ved tre hovedfaktorer. For det første vil en basisk løsning fremme utvasking av kloridioner ved desorpsjon som et resultat av den negative ladningen på overflaten av jernoksidene, forårsaket ved overskudd av OH^- ioner. For det andre er økt porøsitet i korrosjonslag gjerne en følge av basisk behandling, trolig som en konsekvens av hurtige elektrokjemiske reaksjoner ved grenseflaten mellom metall og korrosjonsprodukt (Selwyn, 2004, s. 301). Økt porøsitet vil bidra til avsalting da det tilrettelegger for løsningens diffusjon innover i korrosjonen og kloridionenes diffusjon ut. For det tredje vil en løsning med høy pH kunne forårsake passivering av jernoverflaten, noe som stopper eller senker hastigheten på korrodering (Selwyn, 2004, s. 297, 298). Et slikt passiverende lag av uløselige korrosjonsprodukter som hindrer korrosjon vil også bidra til en effektiv avsalting, ettersom aktiv korrosjon i stor grad vil begrense diffusjonen av kloridioner ved at disse tiltrekkes av Fe^{2+} ioner som produseres under korrosjonsprosessen. Generelt sett vil korrosjonshastigheten være nærmest ubetydelig dersom pH på løsning er over 12, noe som er tilfellet for natriumhydroksid. Begrensningen ved denne modellen er at svært høye konsentrasjoner av kloridioner vil kunne hindre dannelsen av et passiverende lag (Selwyn, 2004, s. 298). Turgoose påpeker også at passivering kan misslykkes dersom korrosjonslagene er svært tykke, ettersom dette vil hindre hydroxidionene i å være tilstede i høy nok konsentrasjon over alle områder på metalloverflaten samtidig (Turgoose, 1985, s. 15). Behandlingens effekt vil dermed til en viss grad være avhengig av kloridnivået i gjenstanden og korrosjonsmassens

tykkelse. Dersom passivering ikke oppnås vil korrodering under behandling også kunne føre til at toverdige jernioner oksideres og utfelles i porene, noe som ytterligere hindrer diffusjon av kloridioner (Scott og Eggert, 2009, s. 140). Selv med disse innsigelsene har flere undersøkelser allikevel bevist at natriumhydroksid generelt sett er en effektiv avsaltingsbehandling som forbedrer jernets stabilitet (Wang et. al., 2008, s. 70; Watkinson og Al-Zahrani, 2008, s. 83; Costain, 2000, s. 18). Dette på tross av at behandlingen trolig ikke bryter ned akaganeitt.

I relasjon til påvirkning på informasjonspotensialet i korrosjonslag kan det argumenteres for at avsalting i natriumhydroksid er en mindre inngripende behandlingsform enn både gass plasmareduksjon og elektrolyse, ettersom behandlingen verken endrer metallografisk struktur eller risikerer å fjerne original overflate. Påvirkning på tilknyttet organisk eller mineralisert organisk materiale er i større grad usikker da det har blitt gjort relativt lite forskning rettet direkte mot dette aspektet ved behandlingen. Generelt sett blir det antatt at sterke basiske løsninger er uheldig for organisk materiale. Knight påstår dessuten konsekvent at mineralisert organisk materiale vil bli skadet og det samme vil innlegg av andre metaller (Knight, 1997, s. 38). Wang, Shearman og Smirniou har derimot utført innledende tester som indikerer at basiske løsninger riktignok er risikabelt for mineralisert organisk materiale, men ikke i like stor grad som tidligere antatt (Wang et. al., 2008, s. 72). Trolig vil tidligere nevnte økning i porøsitet være uheldig i denne sammenheng, ettersom dette gjerne medfører økt skjørhet og sprekker i korrosjonslagene (Selwyn, 2004, s. 301). Videre kan det påpekes at både sølv, kobber og tinn i følge potensialmålinger generelt sett ikke vil korrodere i mildt basiske løsninger. I baser som natriumhydroksid hvor pH ligger på rundt 13 er situasjonen noe mer usikker ettersom dette er på grensen mellom passivasjon/immunitet og korrosjon for de nevnte metaller. I følge potensialmålinger vil natriumhydroksid ha en svakt korroderende effekt på kobber og sølv mens tinn vil passiveres langsomt (figur 2). Det kan derfor argumenteres for at videre tester både innenfor påvirkning på mineralisert organisk materiale og innleggsmetaller vil være relevant.



Basisk sulfitt

Behandling med basisk sulfitt (natriumhydroksid + natriumsulfitt) baserer seg på de samme forutsetningene og faktorene for effektiv avsalting som allerede nevnt under behandling med kun natriumhydroksid, men er samtidig en antatt forbedring av sistnevnte ettersom tilsetningen av natriumsulfitt vil fjerne oksygen som en faktor under behandling ved reaksjonen: $\text{SO}_3^{2-} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$ (Watkinson og Al-Zahrani, 2008, s. 79). Mangelen på oksygen i behandlingsløsningen vil resultere i at korrosjon ikke kan finne sted, uavhengig av kloridnivå eller tykkelse på korrosjonslag som avgjørende for passivering. Uten aktiv korrodering vil det ikke dannes Fe^{2+} ioner som holder kloridionene tilbake. Disse kan dermed diffusere fritt ut i løsningen noe som forbedrer avsaltingseffektiviteten. Det vil heller ikke foregå noen tetting av porer med oksiderte toverdige jernioner, noe som ytterligere øker diffusjonsmuligheten (Scott og Eggert, 2009, 140). Som et resultat av disse faktorene har ulike undersøkelser og forskningsprosjekter i stor grad konkludert med at avsalting i basisk sulfitt er en svært effektiv behandlingsmetode for stabilisering av arkeologisk jern, også i større grad enn behandling med kun natriumhydroksid (Scott og Eggert, 2009, s. 139; Selwyn og Logan, 1993, s. 805; Wang, 2007, 132; Rinuy og Schweizer, 1982, s. 48).

I sammenheng med påvirkning på korrosjonslag og informasjonspotensialet i disse, forventes det at basisk sulfitt vil kunne forårsake mye det samme som natriumhydroksid, som et resultat av at behandlingen pH er identiske. En forskjell ligger allikevel i konsekvensene av

utelukkelsen av oksygen i basisk sulfitt. Den faglige diskusjonen rundt betydningen av dette har i stor grad fokusert på hvorvidt det vil foregå en reduksjon av enkelte korrosjonsprodukter eller ikke, og det har vært en generell antagelse at metodens gode avsaltningseffekt delvis kan forklares på bakgrunn av reduksjonen av alle jernforbindelser til magnetitt (Gilberg og Seeley, 1982, s. 180). Enkelte forskere omtaler basisk sulfitt unyansert som en reduserende behandling (North og Pearson, 1975, s. 176; Bryce, T. 1979, s. 20). Andre fremmer teorien om at reduksjon av jernoksider kun vil forekomme under behandling dersom det er et overskudd av Fe^{2+} ioner tilstede i korrosjonsmassen (Schmutzler og Ebinger-Rist, 2008, s. 251; Gilberg og Seeley, 1982, s. 182). Videre argumenteres det for at dette bare kan forventes for nylig utgravet arkeologisk jern som ikke har tørket ut enda, eller for jern fra marine kontekster med svært tykke og robuste korrosjonslag (Schmutzler og Ebinger-Rist, 2008, s. 251; Selwyn, 2004, s. 301). I følge denne teorien er det dermed mindre sannsynlig at korrosjonsproduktene på landbasert arkeologisk jern som f.eks. har ligget lenge i magasiner vil reduseres til magnetitt under behandling. Dersom reduksjon til magnetitt er tilfelle, bør det vurderes om dette kan få konsekvenser for lokalisering av grensen til original overflate som gått inn på i relasjon til behandling med plasmareduksjon. Det vil også som nevnt være problematisk i forhold til bevaring og tolkning av mineralisert organisk materiale. Uavhengig av reduksjon eller ikke argumenteres det for at basisk sulfitt er en mer aggressiv behandling enn kun natriumhydroksid, og at den etterlater korrosjonsproduktene skjøre og myke. Dette vil hvis tilfelle kunne ha en ødeleggende effekt på mineralisert organisk materiale (Selwyn, 2004, 301; Selwyn og Logan, 1993, s. 805; Watkinson og Al-Zahrani, 2008, 79). Det kan allikevel påpekes at det under andre forskningseksperimenter med metoden derimot er erfart at basisk sulfitt på ingen måte har en skadelig effekt men heller fungerer konsoliderende for gjenstanden (Rinuy og Schweizer, 1982, s. 44). Videre har det også blitt konkludert med at dekorative innlegg av sølv og messing ikke ser ut til å ta visuell skade av behandlingen (Scott og Eggert, 2009, s. 139). Turgoose påpeker også at basisk sulfitt ikke har negative konsekvenser for tinn (Turgoose, 1985b, s. 20). Disse noe varierende tendensene i resultater kan tas til inntekt for at mer forskning rundt metodens påvirkning på korrosjonslag og informasjonen i disse med fordel kan utføres.

3. Generell metodikk

Testmaterialet og premisser for metodikk

I teorikapittelet ble det gjort rede for hvordan korrosjonsprodukter kan være en kilde til informasjon rundt bl.a. en gjenstands kontekst, bruk og tilvirkning. Det problematiske forholdet mellom interessen av å bevare dette informasjonspotensialet og nødvendigheten av å stabilisere jernet for å unngå ytterligere nedbrytning ble også drøftet, og det ble gått nærmere inn på hvordan enkelte av dagens anvendte konserveringsmetoder påvirker korrosjonsprodukter og interessante fenomener i korrosjon.

I dette kapittelet presenteres den generelle tilnærmingen som har blitt valgt for å besvare oppgavens problemstillinger. Dette inkluderer de analysemetoder som anses som mest relevante til oppdaging, undersøkelse og dokumentasjon av informative fenomener gjort rede for i teoridelen. Praktisk anvendelse av disse metodene på testmaterialet vil besvare problemstillingen: Hvilken type informasjon kan uthentes fra korrosjonsprodukter og hvilke analysemetoder er egnede for oppdaging og dokumentering av informative fenomener? En målsetning er at erfaringene fra undersøkelsesprosedyrene også kan resultere i anbefalinger rundt hvordan analyseredskapene bør anvendes for maksimal utnyttelse av deres potensiale innen masteroppgavens tematikk. Testmaterialet vil etter undersøkelsene bli behandlet med inngripende konserveringsmetoder som har som mål å stabilisere jernet og hindre videre aktiv korrodering. Anvendte konserveringsmetoder er utvalgt på bakgrunn av utførte spørreundersøkelse innen konserveringsmetoder for arkeologisk jern i Skandinavia og publisert forskning rundt relevante metoder som drøftet i teoridelen. Etter avsluttet behandling vil kildene til informasjon bli evaluert på nytt med de samme analysemetodene som anvendt før behandling. Direkte sammenligning av analyseresultater før og etter behandling vil være vurderingsgrunnlaget for å besvare problemstillingen: Hvordan vil utvalgte inngripende konserveringsmetoder som har som mål å stabilisere jerngjenstander påvirke informasjon i korrosjonsprodukter? Behandlingsmetodenes fordeler og ulemper vil settes opp mot alternative ikke-inngripende bevaringsmetoder som innebærer oppbevaring under lavt oksygennivå og lav RF.

Alt testmaterialet i oppgaven er smijern anskaffet fra to ulike kilder: En fløtningsshake og en enegget huggert fra Norsk Sjøfartsmuseum som etter utgravning ved Jernbanetorget i Oslo i 2008 har blitt oppbevart uten noen form for klimakontroll, og mindre jerngjenstander fra Kaupangutgravningene i Vestfold som siden utgravning har blitt oppbevart på tørrlager med en RF på ca 15 %. Kriteriene for materialvalg var at gjenstandene skulle ha omfattende korrosjonslag og komme fra noe ulike kontekster for å gi prosjektet bredde. Alt materialet oppfyller disse kravene. Ved vurdering av undersøkelsenes resultater må det allikevel tas med i betraktning at materialutvalget er begrenset til gjenstander som har blitt satt av til faglige eksperimenter etter gjennomgang fra arkeologisk side. De er derfor ikke å anses som kontekstuell eller typologisk/gjenstandsmessig unike i arkeologisk sammenheng.

Valgte metodikk baserer seg på kasus studier som representerer forskjellige aspekter ved problemstillingene. Bakgrunnen for denne tilnærmingen har sammenheng med at testmaterielt består av relativt få enkeltobjekter som er forskjellige hva gjelder størrelse, tilstand og til dels også kontekst. Disse ulikhetene er faktorer som ikke tilrettelegger for at generelle slutninger kan trekkes på bakgrunn av statistiske tendenser, noe som er grunnen til at vurderinger i hovedsak baseres på observasjon. Prosjektets forutsetninger innebærer derfor at dataene fra hver enkelt gjenstand bør forstås som eksempler på hvilke resultater de utvalgte analysemetodene kan frembringe og hvordan de undersøkte informative fenomenene kan fremstå og karakteriseres. Det forventes at resultatene fra undersøkelsene til sammen vil kunne danne et relevant bilde av informasjonspotensialet som finnes i korrosjonsprodukter. Dette kan deretter brukes til å foreslå en generell behandlingsprotokoll som er mer etisk i relasjon til ivaretagelse av informative fenomener. Selv om kasusstudier er hovedmetodikk, vil det for at enkelte generelle konklusjoner skal kunne trekkes på bakgrunn av resultatene fra undersøkelsene allikevel være nødvendig å utføre en helhetlig vurdering og en sammenlignende fremstilling av data fra de forskjellige gjenstandene. I de tilfellene der dette gjøres vil det tas hensyn til materialets heterogenitet under tolkningene.

På bakgrunn av fremlagte premisser vil neste steg i metodikken være tilnærmingen til undersøkelsene av hva som kan finnes i korrosjonslag. Neste steg er behandlingsvalg og avslutningsvis følger evaluering av tap og endring. Denne logiske sekvensen beskrives under.

Undersøkelse og analyser av korrosjon

De følgende informasjonskategoriene er utvalgt på bakgrunn av deres aktualitet som speilet i konserveringslitteratur og gjort rede for i teorikapittelet. I tillegg er de spesielt relevante i konserveringssammenheng ved å være aspekter ved gjenstanden som først og fremst vil oppdages ved en konservators arbeid fremfor eksempelvis en arkeologs, og det vil likeledes være konservatorens arbeid som potensielt kan ødelegge informasjonskildene.

Gjenstandens arkeologiske kontekst

Som nevnt i teoridelen kan korrosjonsproduktenes kjemiske sammensetning i enkelte tilfeller gi informasjon rundt den arkeologiske konteksten gjenstanden er en del av. For å kunne karakterisere korrosjonsprodukter vil visuell undersøkelse både med og uten hjelp av stereomikroskop være et naturlig ikke-inngripende utgangspunkt. Dette har bakgrunn i at kjennetegn innenfor farge og struktur ofte er nok til å gi en klar indikasjon på hvilke produkter som er tilstede. Sikker identifisering krever allikevel mer enn kun visuell undersøkelse ettersom enkelte produkter ikke har tydelig synlige karakteristikk. For sikker identifisering av korrosjonsprodukter er de krystallinske egenskapene til de ulike produktene det avgjørende. X-ray diffraction (XRD) måler nettopp dette og er derfor den mest relevante analysemetoden i denne sammenheng (Caple, 2000, s. 81, Stuart, 2007, s. 232). XRD er også unik innen analysemetoder ved å kunne skille mellom ulike modifikasjoner av faser som har samme kjemiske formula, noe som er tilfelle for flere av jernets korrosjonsprodukter. XRD vil derfor anvendes for endelig identifisering av korrosjonsprodukter etter at en innledende visuell vurdering har bidratt til valg av områder for relevante prøveuttak.

Gjenstandens originale overflate

Synspunkter rundt og betydningen av konseptet original overflate på jerngjenstander ble drøftet i teoridelen. Når det gjelder undersøkelse og dokumentering vil flere utfyllende analysemetoder være relevante. En innledende visuell identifisering av det mørke og kompakte korrosjonsproduktet som trolig er magnetitt vil kunne gi en første indikasjon på tilstedeværelsen av en original overflate. I de fleste tilfeller vil magnetitt riktignok være dekket av andre produkter og dermed ikke være visuelt tilgjengelig uten andre analytiske redskaper. Dermed vil også røntgenundersøkelsens potensiale innen lokalisering av original overflate i korrosjonsmassen utforskes, da det har vist seg at konturene av denne ofte kan

gjenkjennes som en tettere linje eller sone i korrosjonen på røntgenbildet (Lang og Middleton, 2005, s. 156; Scott og Eggert, 2009, s. 133). Dette som et resultat av større tetthet hos produktet magnetitt enn de fleste andre korrosjonsprodukter. Tilstedeværelsen av en slik sone/linje vil deretter videre utforskes og karakteriseres ved en stratigrafisk tverrsnittundersøkelse av korrosjonslagene på enkelte av gjenstandene. For en bekreftelse/avklaring rundt hvorvidt dette karakteristiske laget faktisk kan identifiseres som magnetitt slik det ofte refereres til i konserveringslitteraturen, vil XRD analyse videre utføres på en minimal prøve fra området

Gjenstandens tilvirkning

For jerngjenstander er spor etter sveiseteknikk og metallografisk struktur informative kilder til informasjon rundt gjenstandens tilvirkning som begge har vist seg å kunne uthentes fra korrosjonsprodukter. For å oppdage eventuelle spor etter sveiseteknikk vil røntgenanalyse være en relevant metode. Røntgenundersøkelse av kraftig korroderte jerngjenstander har lenge vært brukt i konserveringssammenheng først og fremst for å vurdere graden av mineralisering og gjenværende metall i gjenstanden (Corfield, 1982, s. 8). Masteroppgavens problemstillinger innebærer at metoden vil brukes hovedsakelig med fokus på korrosjonsmassen fremfor graden av gjenværende metallisk jern. I enkelte tilfeller vil mønsteret hos mønstersmidde gjenstander kunne observeres i selve korrosjonsmassen under røntgenfotografi. Dette innebærer at informasjon rundt smiteknikk kan innhentes selv om gjenstanden er kraftig til fullstendig korrodert (Lang og Middleton, 2005, s. 65). For mer detaljert metallografisk karakterisering vil det utføres prøveuttak av korrosjonslag for undersøkelse under lysmikroskop og en påfølgende vurdering av korrosjons informative potensiale innen metallografi. Nyere forskning har demonstrert at jernets metallografiske mikrostruktur i flere tilfeller også har blitt bevart i korrosjon, enten som hele korn av det opprinnelig metallet, som delvis fossilisert struktur eller som fullstendig fossilisert struktur hvor den metallografiske mikrostrukturen er bevart i korrosjonsproduktene alene (Scott, 1989, s. 9). Ettersom det anses som usikkert om fenomenet opptrer i større grad i enkelte korrosjonsprodukter enn andre (Scott, 1989, s. 13), vil undersøkelsen også inkludere en bevisst registrering av strukturenes lokalisering i korrosjonsstratigrafien.

Gjenstandens dekor

Eventuelle innlegg av andre metaller på jernobjekter vil som et resultat av korrodering over lengre tid i den arkeologiske konteksten trolig ikke lenger befinne seg på jernets

metalloverflate, men heller et sted i korrosjonsmassen. På tross av å være skjult i korrosjonen vil tilstedeværelsen kunne oppdages uten noen form for inngripen i materialet ved hjelp av røntgenanalyse. Forskjellen mellom innleggsmetallets og jernets absorpsjon av røntgenstråler er avgjørende for oppdaging og karakterisering. Røntgenanalyse vil dermed utføres på testmaterialet for å oppdage eventuelle metallinnlegg. Dersom innlegg ikke finnes, vil en tilstedeværelse allikevel simuleres i sammenheng med behandlingseksperimentene ved å inkludere metallkupper av de vanligste innleggsmetallene sammen med jerngjenstandene under behandlingene.

Tilknyttet organisk materiale og mineralisert organisk materiale

Visuell undersøkelse under stereomikroskop og røntgenanalyse vil anvendes som innledende undersøkelsesmetoder for å avgjøre om testmaterialet har spor etter tilknyttet organisk eller mineralisert organisk materiale. Publiserte undersøkelser av denne formen for fenomener i korrosjon påpeker at identifisering under vanlig stereomikroskop er en utfordring ettersom farge og tekstur oftest ikke skiller seg nevneverdig fra områder uten mineralisert organisk materiale (Cameron, 1991, s. 32). Kompletterende analyser vil derfor være relevant.

Røntgenfotografiets potensiale innen oppdaging/identifisering av mineralisert organisk materiale vil utforskes ettersom metodens relevans på dette området er noe omdiskutert. I English Heritages retningslinjer for røntgen av arkeologiske metallgjenstander nevnes det at røntgen er et egnet analyseredskap for oppdaging av mineralisert organisk materiale dersom nøyaktig røntgenteknikk og eksponering anvendes (English Heritage 2006 URL). Scott og Eggert påpeker derimot at det er svært sjelden denne formen for materiale kan påvises ved røntgen (Scott og Eggert, 2009, s. 134). Visuell undersøkelse vil være utgangspunktet for utvelgelse av områder på testmaterialet hvor mindre prøveuttak blir utført for en utforsking av elektronmikroskopets potensiale innen detaljundersøkelse og identifikasjon.

Elektronmikroskopi utvelges på bakgrunn av publiserte undersøkelser som bekrefter analysens relevans for nevnte materiale. Mens undersøkelse under transmittert lys i lysmikroskop fungerer dårlig for kraftig mineralisert organisk materiale, har SEM i stor grad bidratt til suksessfull identifikasjon takket være redskapets unike mulighet for svært høy forstørrelse og skarpe dybdebilder av overflatetopografi (Cronyn et al, 1985, s. 25, Cameron, 1991, s. 26).

Spørreundersøkelse for en oversikt over konserveringsmetoder for jern på skandinaviske museer

På basis av den behandlingsrelaterte litteraturgjennomgangen i teorikapittelet, var det ønskelig å bekrefte at de behandlingsregimene som fremstår som mest aktuelle faktisk er i bruk i Skandinavia. Dette har bakgrunn i at det ikke kan anses som selvsagt at publiserte behandlingsstrategier reflekterer virkeligheten på museene, hvor tilgjengelig tid og ressurser også vil være en påvirkende faktor ved valg av behandling. Ettersom det absolutte flertallet av publiserte forskningsartikler på området også er produsert utenfor Skandinavia, ble en spørreundersøkelse utarbeidet for å kunne besvare problemstillingen: Hva er dagens behandlingsstrategier for arkeologisk jern og hva er bakgrunnen for valg av behandlingsmetoder?

Som nevnt vil spørreundersøkelsen sammen med publisert forskning rundt anvendte metoder danne utgangspunktet for valg av de konserveringsbehandlinger som skal utføres på testmaterialet. På denne måten vil behandlingsforsøkene settes både i en forskningsmessig oppdatert og en mer bruksreell kontekst. Et mål med undersøkelsesprosedyren før og etter behandling vil dermed være å belyse nye sider ved en mye anvendt metodes påvirkning/effekt. Spørreundersøkelsen vil også belyse i hvilken grad innledende undersøkelser av informasjon i korrosjonslag utføres forut for konservering. Svaret på dette spørsmålet vil sammen med svar på hvilke konserveringsmetoder som anvendes gi et bilde på hvor mye informasjon rundt skandinaviske arkeologiske jerngjenstander som potensielt kan gå tapt. I denne forbindelse forventes det også at resultatene av planlagte analyser i masteroppgaven vil kunne bidra til en anbefaling av hvilke analysemetoder som bør utføres forut for konserveringsbehandling. Et viktig spørsmål spørreundersøkelsen vil besvare er hvilke faktorer valg av konserveringsbehandling baseres på. En oversikt over dette vil kunne gi en indikasjon på hvilke verdier som styrer jernkonservering i dag og er dermed interessant innenfor et konserveringsteoretisk og etisk perspektiv. Det vil også kunne si noe om relevansen av masteroppgavens målsetning sett fra skandinaviske museers ståsted.

Utvalgte konserverings/stabiliseringsbehandlinger

Avsalting med natriumhydroksid og basisk sulfitt

For å besvare problemstillingen: Hvordan vil utvalgte inngripende konserveringsmetoder som har som mål å stabilisere jerngjenstander påvirke informasjon i korrosjonsprodukter? er det på bakgrunn av spørreundersøkelse blant skandinaviske museer og beskrevne behandlingsmetoder i teorikapittelet valgt ut to metoder til eksperimentell behandling som fremstår som mest lovende for masteroppgavens målsetning; Avsalting i natriumhydroksid og avsalting i basisk sulfitt. Disse er som gjort rede for i teorikapittelet blant de mest effektive og relevante innen ekstrahering av kloridioner i arkeologisk jern (Selwyn og Logan, 1993, s. 807; Rinuy og Schweizer, 1982, s. 48; Watkinson, 1996, s. 211). Å rette søkelyset mot andre aspekter ved metodenes effekt, henholdsvis effekten på informasjon i korrosjonsproduktene, vil bidra til at et mer helhetlig bilde av metodenes relevans og bruksområde kan dannes. Mindre forskning har blitt utført på dette området og det hersker fortsatt en del usikkerhet og uenighet rundt metodenes innvirkning på korrosjonsproduktenes karakter og eventuelle andre materialer tilknyttet en arkeologisk jerngjenstand. Dette er et felt hvor flere fagfolk etterlyser mer utfyllende forskning (Selwyn, 2004, 303; Wang et. al., 2008, 72), noe som setter masteroppgavens eksperimenter inn i en forskningsrelevant kontekst. Natriumhydroksid og basisk sulfitt fremstår som mer lovende i denne sammenheng enn de andre metodene gjort rede for, ettersom de førstnevnte forårsaker avsalting uten en medfølgende og omfattende fysisk/mekanisk påvirkning på korrosjonen. De to testbehandlingene skilles i hovedprinsipp ved at tilsetning av natriumsulfitt utelukker tilstedeværelsen av oksygen. Interessen av å sammenligne metodene ligger nettopp i hvilken betydning og påvirkning mangelen på oksygen under behandling har på korrosjonsproduktene. Spesielt gjelder dette den generelle faglige usikkerheten rundt hvorvidt det vil foregå en reduksjon av jernoksider til magnetitt eller ikke (Selwyn, 2004, s. 303).

Rent praktisk vil problemstillingen som nevnt besvares ved å gjenta den innledende undersøkelsesprosedyren etter konserveringsbehandlingene er gjennomført og sammenligne resultatene. Dersom de sammenlignede analyseresultatene demonstrerer at behandlingene viser seg å endre interessante fenomener på en måte som forringer deres informasjonspotensiale, kan de på bakgrunn av masteroppgavens målsetning anses som mindre egnede. Det må påpekes at en slik konklusjon ikke skal tolkes dit hen at metoden på

en generell konserveringsbasis nødvendigvis er urelevant. Ettersom kloridioner i arkeologiske jerngjenstander fortsatt kan sies å være den største utfordringen innen jernkonservering (Ståhl et al. 2003, s. 2564, Knight, 1997, s. 37, Selwyn, 2004, s. 294), vil det kunne argumenteres for at en effektiv avsaltingsmetode sjelden bør forkastes fullstendig. Allikevel er fokuset i denne masteroppgaven rettet mot korrosjonsproduktene informasjonspotensiale og en konserveringsmetodes påvirkning på dette, avsaltingseffekt vil dermed ikke måles eller være en utslagsgivende faktor i vurdering av de testede behandlingsmetodene.

Stabilisering ved oppbevaring i et oksygenfritt miljø

Problemstillingen: På hvilken måte kan informasjon i korrosjonsprodukter best bevares, og vil en slik bevaring eventuelt måtte gå på bekostning av gjenstandens stabilitet? vil drøftes ved at resultater og konklusjoner etter testede konserveringsbehandlinger settes opp mot en annen bevaringstilnærming som setter fokus på minimal inngripen i materialet. Ved forseglet pakking av jernobjekter med ESCAL/RP (Revolutionary Preservation) systemet utviklet av Mitsubishi skal tilgang på fuktighet, oksygen og korroderende gasser utelukkes fullstendig og jernet skal teoretisk sett ikke kunne korrodere (conservation-by-design 2007 URL). Andre former for oksygenfri oppbevaring eksisterer også, bl.a. oppbevaring i inerte gasser. ESCAL/RP systemet utvelges blant alternativene på bakgrunn av metodens antatte enkelhet i bruk og økonomiske relevans (Mathias et. al., 2004, s. 37). I teorien vil systemet ha den fordelene over standard lagring i lukkede bokser med silikagel at oksygen som en faktor i korrosjonsprosessen ikke er tilstede, og dessuten at mikroklimaet opprettholdes i fire til seks år uten utskifting av pakkematerialet (conservation-by-design 2007 URL). Sistnevnte faktor vil dersom korrekt kunne være tids og ressursbesparende på museer som ikke har et eget tørrom, ettersom utskifting av silikagel derimot må utføres relativt hyppig for å holde RF lav og stabil. Tilnærmingen skal også garantere at ingen endringer av korrosjonsprodukter vil finne sted. På denne måten bevares gjenstanden og dens informasjonspotensiale intakt for eventuell fremtidig forskning eller annen behandling. Det vil dermed kunne argumenteres for at ESCAL/RP systemet er det mest relevante alternativet som bevaringsstrategi dersom bevaring av korrosjonsproduktene informasjonspotensiale skal veie tyngst. For å vurdere ESCAL/RP systemets egnethet som bevaringsstrategi vil testmateriale pakket ved nevnte metode utsettes for et mikroklima med høy RF over en to måneders periode. Systemet vil også samtidig sammenlignes med standard RF kontrollert lagring med silikagel, testet under de samme forholdene. Jevnlig visuell kontroll av gjenstandens tilstand og RF indikator pakket sammen med gjenstanden vil gi en indikasjon på systemets pålitelighet og relevans.

Eventuelle svakheter ved brukervennlighet eller mulighet for visuell undersøkelse av gjenstandene når pakket vil også være avgjørende faktorer i en helhetsvurdering. ESCAL/RP.

4. Undersøkelses og behandlingsbeskrivelse

Under generell metodikk ble utvalgte analysemetoder presentert gjennom deres direkte relevans innen oppdaging, undersøkelse og dokumentasjon av de informative fenomener som var forventet å være tilstede i korrosjonsprodukter. Under følger en beskrivelse av hvordan de enkelte analyseredskapene deretter ble brukt og tilpasset for masteroppgavens formål, i tillegg til detaljer rundt behandlingene. Alle undersøkelser/analyser ble gjentatt med samme prosedyre etter behandling, og nye prøveuttak ble gjort fra samme områder som forut for behandling. Etterundersøkelsene vil derfor ikke nevnes spesifikt under hver analysemetode med mindre fremgangsmåten avvek noe fra de innledende undersøkelsene.

Spørreundersøkelse

Spørreundersøkelsen er utformet delvis som en avkrysningsundersøkelse med svaralternativer for å tilrettelegge for statistiske resultater og vurderinger, og delvis som åpne spørsmål for å gi mottakeren mulighet til å fremme egne synspunkter gjennom utfyllende svar (for oversikt over spørsmålene, se vedlegg VI). Dette for å gi et mer heldekkende bilde av konserveringsholdninger. Resultatene fra undersøkelsen vil dermed presenteres både statistisk og tekstuelt gjennom betraktninger og tendenser rundt de forskjellige spørsmålene.

Undersøkelser/analyser av korrosjon

Røntgenanalyse

Røntgenanalysens formål var oppdaging, undersøkelse og dokumentering av eventuelle innlegg av andre metaller, spor etter fremstillingsteknikk, original overflate og mineralisert organisk materiale. Ettersom det var forventet at disse ulike fenomenene absorberer røntgenstråler i ulik grad, ble det tatt røntgenbilder med ulik spenning for flere av gjenstandene for på denne måten sikre at ingen fenomener ble oversett. Bilder med økende spenning ble i størst grad utført på de større gjenstandene, ettersom det kan forventes at høy spenning er nødvendig for at kontraster og detaljer skal kunne registreres hos gjenstander med høy tetthet (English Heritage 2006 URL, s. 11). Røntgenanalyse ble gjort med følgende innstillinger:

Gjenstand	Spennning (kV)	Strøm (mA)	Tid (sek.)
C52519 40288	55 kV og 65 kV	5 mA	60 sek
C52519 40276	55 kV og 65 kV	5 mA	60 sek
C52519 39775	55 kV og 65 kV	5 mA	60 sek
C52519 39002	55 kV og 65 kV	5 mA	60 sek
C52519 39161	55 kV og 65 kV	5 mA	60 sek
A94/136	80 kV, 100 kV og 125kV	5 mA	60 sek
NSM 03010078 x 758	65 kV og 90 kV	5 mA	60 sek

XRD analyse

XRD analysens formål var å karakterisere ulike korrosjonsprodukters kjemiske struktur og å kjemisk identifisere en antatt original overflate. På bakgrunn av visuell undersøkelse ble prøver tatt fra korrosjonslag av forskjellig visuell karakter hos seks gjenstander for å oppnå størst mulig variasjon i produkter (Se bildevedlegg for prøveuttak). For fire gjenstander med udefinerbare/uklart skille mellom ulike korrosjonslag ble det kun tatt ut en prøve. Hos to gjenstander ble det tatt prøve fra mer enn ett korrosjonslag, ettersom det på disse to gjenstandene var mulig å skille ut flere distinkte visuelt ulike korrosjonsprodukter. Spesielt gjeldende var dette for gjenstand A94/136 hvor prøver ble tatt fra det som var antatt fire ulike produkter basert på fargeforskjeller. Korrosjonsproduktenes farger på denne gjenstanden indikerte at i hvert fall både Magnetitt og Goethitt var tilstede. Prøver ble tatt fra disse produktene da det ble ansett som spesielt relevant å undersøke hvilken påvirkning de utvalgte konserveringsbehandlingene vil ha på disse relativt vanlige produktene. I relasjon til identifikasjon av original overflate ble det tatt ut prøver av et mørkt grått korrosjonsprodukt, antatt magnetitt, lokalisert nær metallkjernen hos fire av gjenstandene. Prøvene ble tatt ut så rene som mulig, d.v.s. at materialet var så krystallinsk som mulig uten for mye medfølgende organiske partikler. Dette for at tolkning av analysene skulle bli presis (pers. komm Hans-Jørgen Berg). Alle prøvene var på ca 3mm³ og ble analysert av Hans-Jørgen Berg på Geologisk Museum i Oslo. Under følger tabell over hvilke gjenstander prøver ble tatt fra sammen med korresponderende visuell karakterisering.

Prøve nr.	Gjenstand	Visuell beskrivelse
1	A94/136	Oransje
2	A94/136	Mørkt grått og kompakt + rødt
3	A94/136	Rødbrunt
4	C52519 39161	Mørkt grått, kompakt + lys brungult
5	C52519 39775	Mørkt grått, kompakt + lys brungult
6	NSM 03010078 x 758	Mørkt grått, kompakt + oransje
7	NSM 03010078 x 758	Mørkt grått, kompakt
8	C52519 40276	Oransje/rødt
9	C52519 39002	Rødbrunt
10	A94/136	Rødt (mineralisert tre?)

Undersøkelse av tverrsnitt for metallografisk analyse og korrosjonsstratigrafi

Formålet med den metallografiske analysen av korrosjon var oppdaging, undersøkelse og dokumentasjon av metallografisk struktur i korrosjonsprodukter. Prøveuttak av korrosjon ble utført på alle gjenstandene hvorav det hos tre av disse ble tatt ut to prøver mens det på de resterende fem ble tatt ut en (se bildevedlegg for prøveuttak). Ettersom det blir ansett som usikkert hvor i korrosjonen det med størst sannsynlighet vil kunne finnes spor etter metallografisk struktur, ble det gått inn for å ta ut tverrsnitt av hele korrosjonsmassen for å inkludere flere lag i prøven (Scott, 1989, s. 13). I de tilfellene hvor flere enn en prøve ble tatt ut, ble dette gjort på bakgrunn av mulighet for ulike metallografiske strukturer som et resultat av variert bearbeiding av metallet hos akkurat disse gjenstandene. Eksempelvis ble det av gjenstand NSM 03010078 x 758 (huggert) tatt ut korrosjonsprøve både fra eggen og fra lenger inn på bladet da det kan forventes ulik bearbeiding av disse to områdene.

Prøvene var fra ca 2-10mm³ og ble tatt ut med skalpell. Videre ble prøvene festet i plastklyper for å lettere kunne holdes på plass i en epoksysløp. Slippmiddel i form av Dow Corning High Vacuum Grease ble påført innsiden av plastikkform og lokk, og prøvene i klyper ble plassert med undersøkelsesflatene ned mot lokkene. To-komponent epoksy av typen Epofix fra Struers ble helt ned i form til prøvene var dekket. Etter herding ble prøvene innkapslet i epoksy tatt ut av støpeformene og pusset og polert for å få en jevn undersøkelsesflate. For pussing ble det brukt silikon karbid papir av økende finhetsgrad på en roterende skive med kontinuerlig tilførsel av vann. Pussing startet med papir med finhetsgrad 80, videre fulgte finhetsgrad 320 og 800. Polering ble gjort på roterende poleringsskiver av økende finhetsgrad. På poleringsskivene ble det anvendt diamantpasta med samme finhetsgrad som skiven i tillegg til lubricant Blue med etanol. Polering startet med skive og diamantpasta med finhetsgrad 15 µm, videre fulgte poleringsskive og diamantpasta 6 µm og avslutningsvis skive

og pasta 1 µm. Da prøven var fri for riper ble den etset i 45 sekunder i en 2 % løsning HNO₃ i rektifisert sprit og skyllet lett i aceton før undersøkelse i analysemikroskop ble gjennomført. For å tolke prøven ble karakteristikk som kornstørrelse, tilstedeværelse av ulike faser, tilstedeværelse av slagpartikler og metallkornenes plassering i korrosjonslagene bemerket og sammenlignet med referanser i bøkene *Metallography and microstructure of ancient and historic metals* (Scott 1991) og *Light Microscopy of Carbon Steels* (Samuels 1999).

Formålet med undersøkelse av korrosjonsstratigrafi var en lokalisering og topografisk karakterisering av original overflate hos jerngjenstandene. Tverrsnitt for undersøkelse av stratigrafi ble tatt fra tre gjenstander valgt ut på bakgrunn av deres ulike arkeologiske kontekster i tillegg til prøveuttakene for XRD-analyse som hos alle tre ga en fargeindikasjon på tilstedeværelsen av magnetitt (mørkt grått). Fra gjenstand NSM 03010078 x 758 (huggert) ble det tatt tre prøver fra forskjellige steder på gjenstanden ettersom denne hadde svært uhomogene korrosjonslag. Tverrsnittene ble tatt ut og montert på samme måte som for metallografisk undersøkelse.

Analyse med elektronmikroskop (SEM-EDS)

Formålet med elektronmikroskopisk analyse var undersøkelse, identifikasjon og dokumentasjon av mineralisert organisk materiale. På bakgrunn av innledende visuell undersøkelse ble det valgt ut områder for prøvetaking til SEM analyse. Valgene ble basert på karakteristiske homogene områder i jernoksider som skilte seg ut eksempelvis ved en fibrøs struktur, sammen med godt begrunnede antagelser rundt hvor på gjenstanden det mest sannsynlig ville ha vært tilknyttet organisk materiale (se vedlegg II for prøveuttak). Prøvene ble tatt ut med skalpell og hadde en størrelse på ca 2 – 5mm². Ved prøveuttak ble det lagt vekt på å fortrinnsvis brette av prøvene fremfor å skjære ettersom skjæring høyst sannsynlig vil medføre utsmøring av detaljer eller fullstendig pulverisering av prøven dersom denne er kraftig mineralisert (Watson, 1988, s. 68). I den grad dette var mulig ble prøvematerialet undersøkt både i tverrsnitt og lengdesnitt for å tilrettelegge for tilgang til flest mulige karakteristiske detaljer for identifikasjon. Alle prøvene ble sputret med karbon for å oppnå et klart overflatbilde, ettersom det var usikkert i hvilken grad prøvematerialet var strømlende. Flere av prøvene var svært skjøre og det var derfor vanskelig å feste de med god nok kontakt til det strømførende underlaget uten å risikere å ødelegge de. For å overkomme dette problemet ble kontakt forsikret ved å feste små dråper av karbonholdig lim av typen Leit-C Conductive Carbon Cement (Neubauer Chemikalien) mellom ytterpunkter på prøven og

underlaget (figur 3). Veiledende for identifisering av prøvematerialet var referansebilder i artikler som Keepax, C. 1989, *Corrosion preserved wood: Advances since 1975*, Watson, J. 1988, *The identification of organic materials preserved by metal corrosion products*, Haines, B.M. 1981, *Leather under the microscope* og O'Connor, S. 1987, *The identification of osseous and keratinaceous materials at York*.



Figur 3: Monterte prøver for SEM-EDS analyse.

Utvalgte konserverings/stabiliseringsbehandlinger

Behandlingsoversikt

Gjenstand	Behandling
39775	NaOH
39002	NaOH
NSM 03010078 x 758 (Huggert hjalte)	NaOH
40276	NaOH i oksygenfritt miljø ved bruk av ESCAL/RP systemet
A94/136	NaOH + Na ₂ SO ₃
39161	NaOH + Na ₂ SO ₃
NSM 03010078 x 758 (Huggert blad)	NaOH + Na ₂ SO ₃
40288	NaOH + Na ₂ SO ₃
0709-0016x1 (Fløtningsshake)	NaOH + Na ₂ SO ₃
40231	Ikke-inngripende bevaring ved ESCAL/RP systemet
15803	Ikke-inngripende bevaring ved ESCAL/RP systemet

Da røntgenanalysen demonstrerte at huggerten i virkeligheten var brukket i to under korrosjonslagene, ble det besluttet å behandle disse to delene separat for å slik ha fordelene av å kunne teste to forskjellige behandlinger på samme gjenstand. Fløtningsshaken ble ikke utsatt for en helhetlig behandling grunnet dennes omfattende treskaft. Ettersom det i størst grad var interessant å vurdere hvordan den mineraliserte surringen ville reagere på behandling ble de dermed besluttet å kun behandle en prøvebit fra dette materialet.

Avsalting med natriumhydroksid

Gjenstandene ble lagt i en 0,5 M NaOH løsning i en polypropylenboks med lokk. Løsningen ble laget med destillert vann. Lokket ble forseglet med Parafilm for minske tilgang på oksygen. Selv om utførelsen av eksperimentet ikke inkluderer måling av utvaskede kloridioner, ble det sett på som relevant å gjennomføre behandlingene på en måte som tilrettelegger for en mest mulig effektiv avsalting. Effektiv avsalting vil trolig være det største hensynet med metoden innenfor de fleste konserveringsinstitusjoner, og det var ønskelig å vurdere behandlingens påvirkning under autentiske forhold. Behandlingen foregikk derfor under oppvarming i ovn på 60 °C ettersom dette har vist seg å øke hastigheten på kloridutvaskingen (Watkinson, 1982, s. 29). Løsningen ble byttet etter 15 dager og behandlingen ble avsluttet etter 30 dager (Watkinson, 1985, s. 39). Dette kan sies å være et minimum innen behandlingstid, og ble valgt på bakgrunn av prosjektets tidsbegrensninger. Ofte utføres disse behandlingene med et tidspenn på ca fire måneder for å sikre en fullstendig utvasking (Schmutzler og Ebinger-Rist, 2004, s. 251). Dette er et faktum som må tas med i betraktning ved vurdering av metodens konsekvenser i oppgaven. Ved avsluttet behandling ble jerngjenstandene skyllet grundig i destillert vann og deretter tørket fra aceton for å ved hurtig tørking begrense muligheten for fornyet korrosjon.

Avsalting med natriumhydroksid i et oksygenfritt miljø ble testet ved å forsegle en boks med gjenstand i løsning med ESCAL film, og inkludere tre pakker med RP-5A oxygen scavenger. ESCAL-filmen ble varmeforseglet med sveisejern for å i størst mulig grad hindre oksygentilgang. At forseglingen var tett og RP-5A pakkene effektivt fjernet oksygenet tilstede ble kontrollert ved å observere at ESCAL posen sugde seg sammen ca 20 %.



Figur 4: Behandling med NaOH i oksygenfritt miljø ved ESCAL/RP

Avsalting med basisk sulfitt

For gjenstand A94/136 ble tilstedeværende mineralisert organisk materiale delvis konsolidert med 10 % Paraloid B44 før avsalting, ettersom det var ønskelig utforske konsolidering som et hjelpemiddel for å beskytte materialet mot avsaltingens eventuelle ødeleggende effekt.

Paraloid B44 ble utvalgt på bakgrunn av at det tåler den høye temperaturen under behandlingen (Schmidt-Ott og Boissonnas, 2002, s. 84). Påføringen ble gjort med pipette.

Gjenstandene ble lagt i en 0,5 M NaOH + 0,5 M Na₂SO₃ løsning i en polypropylenboks med lokk. Løsningen ble laget med destillert vann. Ettersom Na₂SO₃ anvendes for dets egenskap som oxygen scavenger i selve løsningen, var det relevant at atmosfærisk oksygen var tilstede i minst mulig grad under tilvirkningen av løsningen. Blandingen av kjemikaliene ble derfor gjort under lokk. Lokket ble forseglet med Parafilm og boksen ble satt i ovn på 60 °C.

Løsningen ble byttet etter 15 dager og behandlingen ble avsluttet etter 30 dager. Ved avsluttet behandling ble jerngjenstandene skyllet grundig i destillert vann og deretter tørket fra aceton for å ved hurtig tørking begrense muligheten for fornyet korrosjon.

Metallkupper av kobber, tinn og sølv ble lagt sammen med jerngjenstandene behandlet med både natriumhydroksid og basisk sulfitt for å kunne vurdere hvordan eventuelle dekorasjonsinnlegg av nevnte metaller vil reagere på behandlingsmetodene. Etter avsluttet behandling ble kupongene undersøkt, og eventuelle fargeendringer ble vurdert opp mot Oddys standarder for akseptable og uakseptable fargeendringer. Selv om disse er utarbeidet i relasjon til relevante oppbevaringsmaterialer og ikke inngripende behandlinger, ble de ansett som et egnet utgangspunkt for en vurdering på rent visuelt grunnlag.

Ikke-inngripende stabilisering ved ESCAL/RP systemet

ESCAL film ble kuttet til relevant størrelse for det gjeldende jernobjekter og forseglet på tre sider med sveisejern. Gjenstanden ble lagt ned i den tillagede posen sammen med to pakker RP-5A oxygen scavenger og en RF indikator. Antall pakker ble bestemt på bakgrunn av tidligere tester som har demonstrert at en pakke pr. 100 g jern er nødvendig (Mathias et al, 2004, s. 35). Åpningen i ESCAL posen ble deretter varmeforseglet. At forseglingen var tett og RP-5A pakkene effektivt fjernet oksygenet tilstede ble kontrollert ved å observere at ESCAL posen sugde seg sammen ca 20 %. Senkning av RF ble kontrollert ved observasjon av RF indikatoren. Et mikroklima på 75 % RF ble laget ved å plassere en boks med en mettet saltløsning av NaCl i bunnen av en glasklokke. Det høye RF nivået ble valgt på bakgrunn av

ønsket om å se eventuelle endringer og reaksjoner raskt, ettersom eksperimentet ble utført med begrenset tid. Gjenstandene pakket med ESCAL-RP systemet ble plassert på en rist over boksen med saltløsning. For at en sammenlignende vurdering av systemet skulle kunne utføres ble en lignende jerngjenstand plassert sammen med relevant mengde silikagel og en RF indikator i en polypropylenboks med lokk og utsatt for det samme mikroklimaet. Oppbevaring i lukket boks med silikagel ble valgt som sammenlignende metode ettersom denne formen for kontrollert magasinerings gjerne er det relevante alternativet for museer som ikke har kapasitet/ressurser til RF kontrollerte rom ved hjelp av avfuktere. Også for museer med egne tørrom, vil pakking i boks med silikagel være en mye anvendt strategi for midlertidig oppbevaring etter utgravning og fram mot undersøkelse og behandling på museum. Som utførte spørreundersøkelse demonstrerer kan denne midlertidige perioden ofte vare i opptil flere måneder. Både gjenstandenes tilstand og RF indikatorer ble jevnlig observert og endringer notert i løpet av eksperimentets varighet. Etter to måneder ble eksperimentet avsluttet og gjenstander og RF indikatorer sammenlignet.



Figur 5: Testing i mikroklima med høy RF



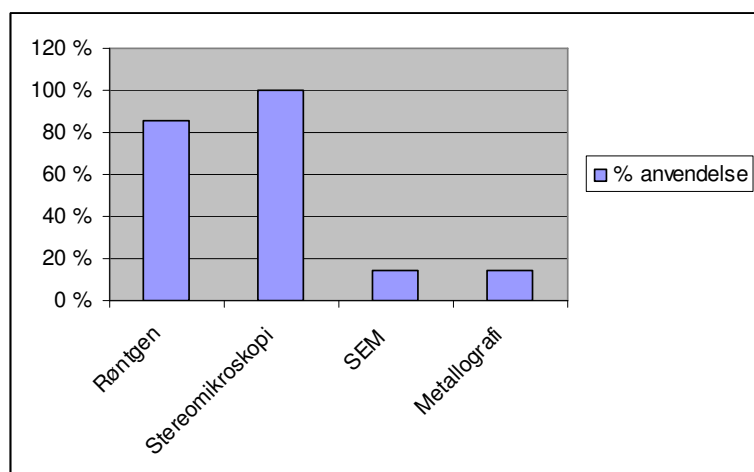
Figur 6: Jerngjenstand pakket med ESCAL/RP systemet

5. Resultater og diskusjon av analyser

Spørreundersøkelse for en oversikt over og vurderinger av konserveringsbehandlinger for arkeologisk jern på skandinaviske museer.

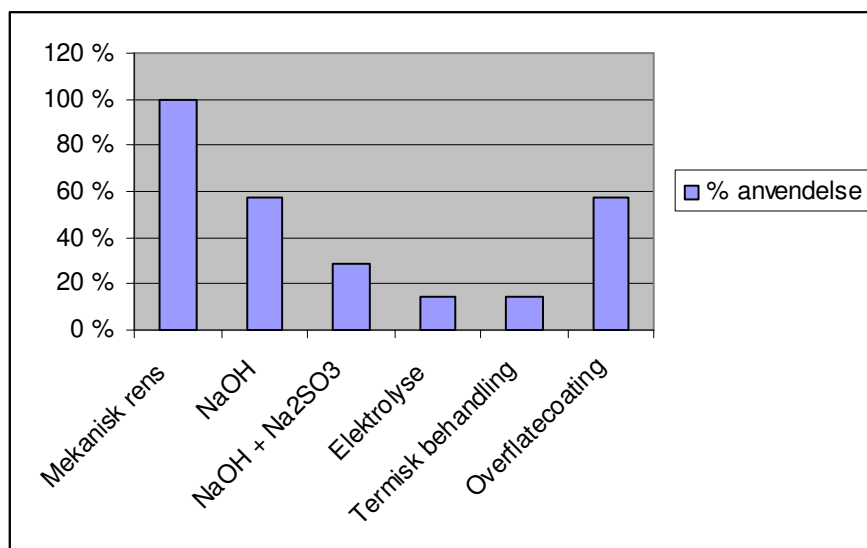
Syv av 21 museer/institusjoner besvarte spørreundersøkelsen. Under følger resultatene fra hvert spørsmål i undersøkelsen, presentert delvis statistisk og delvis tekstuelt avhengig av spørsmålsformuleringen:

1. Foretas det på deres museum i forbindelse med dokumentasjonspraksis av arkeologiske gjenstander noen form for innledende undersøkelser av nylig utgravde jerngjenstander forut for konservering?



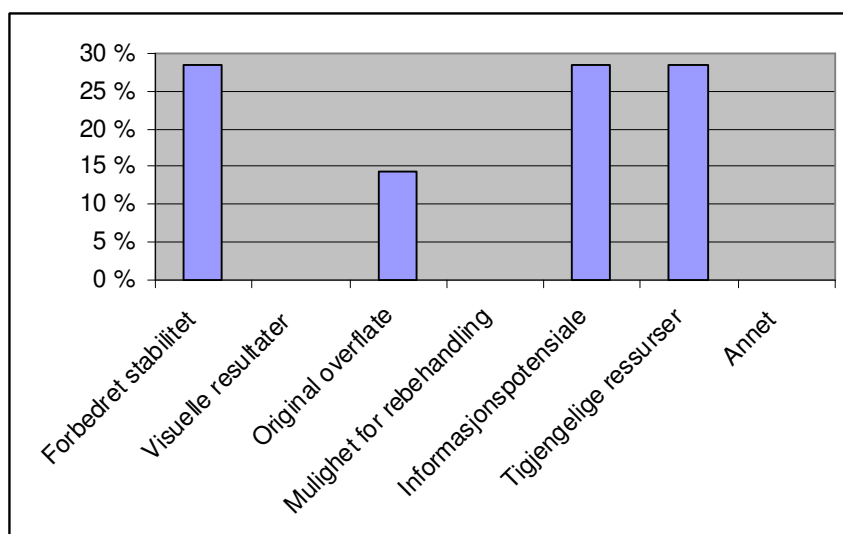
Resultatene demonstrerer at både røntgen og stereomikroskopi utnyttes til undersøkelser forut for behandling i stor grad på alle museene. I utfyllende svar påpekes det at målsetning med røntgen hovedsakelig er undersøkelse av form, tilstand, dekor og i mindre grad teknologi. Stereomikroskopi anvendes for å undersøke eventuelle spor etter organisk eller mineralisert organisk materiale og dekor. SEM benyttes på ett museum for identifikasjon av produkter i korrosjon. Metallografisk undersøkelse utføres på prøvemateriale fra metallkjerne på kun ett museum.

2. Hvilken/hvilke konserveringsmetode(r) anvendes på deres museum for arkeologiske jerngjenstander?



Mekanisk rensing ble utført på alle museer, i all hovedsak i kombinasjon med en form for avsalting. Natriumhydroksid og basisk sulfitt er de klart mest anvendte avsaltingsmetodene, noe som stemmer godt overens med hva publisert litteratur gir inntrykk av (jamfør teorikapittelet). Elektrolyse og termisk behandling (plasmareduksjon, 800 °C) ble kun benyttet på ett museum, dette på samme museum som utførte metallografisk undersøkelse forut for behandling. Ett museum påpeker at eventuelle funn av metallinnlegg eller organisk materiale på jernet vil tas hensyn til ved avsaltingsbehandling, uten at det går inn på hvordan. Over halvparten av museene overflatebehandler avslutningsvis med voks eller en form for lakk. Ett museum uttrykker spesifikt at dette unngås da det gjør rebehandling problematisk.

3. Hva baseres valg av konserveringsbehandling på?

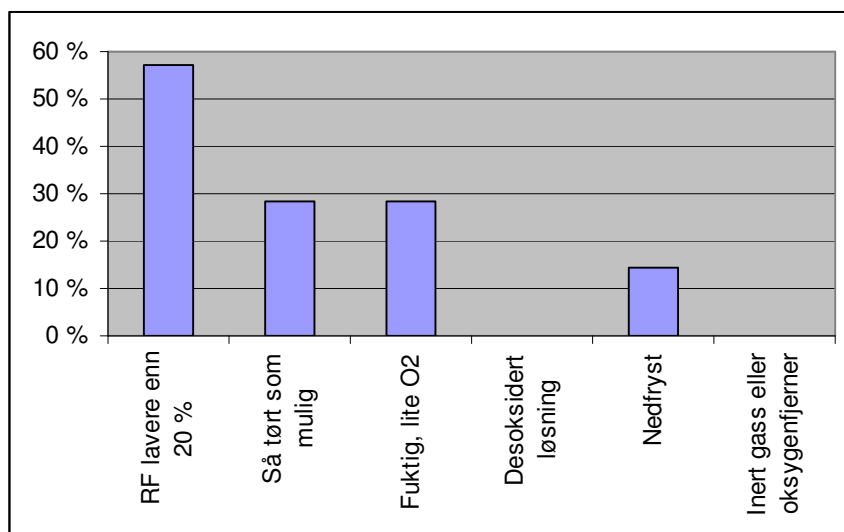


Statistikken viser oversikt over hva som er ansett som mest styrende for valg av behandling hos de forskjellige museene. For museenes fullstendige rangeringer henvises det til vedlegg VI. At bevaring av informasjonspotensiale er en prioritert faktor i konserveringssammenheng på skandinaviske museer demonstrerer relevansen av oppgavens tematikk.

4. Er det en tendens at jernet ofte er ustabil selv etter konserveringsbehandling? D.v.s. synlig aktiv korrodering og/eller oppsprekking av jerngjenstanden.

To av syv museer påpeker at jernet kan være ustabil også etter konserveringsbehandling. Disse to museene anvender begge hovedsakelig mekanisk rensing og avsalting i NaOH som konserveringsbehandlinger. De resterende fem erfarer at aktiv korrodering er sjeldent. På ett av museene som anvender NaOH nevnes det at metoden foreløpig er så ny i bruk at langtidseffekt enda er usikkert. For dette spørsmålet må det påpekes at erfaringene trolig også farges av oppbevaringsforholdene etter konservering.

5. Hvordan oppbevares arkeologiske jerngjenstander midlertidig direkte etter utgravning frem mot konservering?



Resultatene viser at vanligst midlertidig oppbevaring er under 20 % RF, men at flere av museene benytter flere enn en metode konsekvent, avhengig av gjenstand og funnforhold. Svarene gir lite informasjon om hvordan RF holdes under 20 %.

6. Hvor lang tid går det omtrentlig mellom utgravning av jernet og igangsatt konserveringsbehandling?

Alle museer svarer på dette spørsmålet at tiden frem mot konservering kan variere fra få uker til et år eller mer. Museene som har eget tørrom påpeker at dette gjør eventuelt etterslep mindre problematisk ettersom gjenstandene dermed kan holdes stabile frem mot konservering.

7. Oppbevares jernet under kontrollert relativ fuktighet etter konservering? Hvis ja, under hvilken RF?

Svarene på dette spørsmålet varierer fra 15 % - ca 50 % RF, flertallet oppgir i underkant av 30 men at det varierer.

8. Anses konservering av arkeologisk jern på museet som spesielt ressurskrevende og/eller tidkrevende? Hvis ja, hva mener du er grunnen til dette?

Seks av syv museer svarte at jernkonservering anses som spesielt ressurskrevende og tidkrevende. Nevnte bakgrunner for dette var tid- og arbeidskrevende mekanisk rensing, langvarig behandlingstid ved avsalting, nødvendig teknisk utstyr som røntgen og sandblåser, og spesielle tiltak for tørr magasinerings. Ett museum påpeker at det største problemet er å oppnå stabilitet uten å være avhengig av konstant oppbevaring i tørrom, og at avsaltingsmetodene burde være mer nøyaktige ettersom det ikke er en god langvarig løsning å basere seg på kontrollert oppbevaring alene. Videre uttrykkes det også et behov for en bedre forståelse av jernets materialer, nedbrytning og korrosjonsprodukter for at rensemetoder kan evalueres mer korrekt.

Undersøkelse og analyser av korrosjon

Gjenstandens arkeologiske kontekst

XRD analyse av korrosjonsprodukter før og etter behandlinger

(Se vedlegg V for eksempler på XRD spektra)

Prøve nr.	Gjenstand	Identifisert korrosjonsprodukt før behandling	Identifisert korrosjonsprodukt etter behandling
1	A94/136	Goethitt	Goethitt
2	A94/136	Goethitt + magnetitt	Goethitt + magnetitt
3	A94/136	Ankeritt + jern titanium sulfat	Ankeritt + jern titanium sulfat
4	C52519 39161	Goethitt	Goethitt
5	C52519 39775	Goethitt	Goethitt + muscovitt

6	NSM 03010078 x 758	Goethitt + jernfosfat hydroksid	Goethitt + jernfosfat hydroksid
7	NSM 03010078 x 758	Goethitt + plumbojarositt + magnetitt	Goethitt + chalcopyratt (CuFeS ₂) + magnetitt
8	C52519 40276	Goethitt	Goethitt
9	C52519 39002	Goethitt	Goethitt
10	A94/136	Goethitt	Goethitt + magnetitt

XRD analyse ble forut for anvendelse på testmaterialets korrosjonsprodukter antatt å være en svært presis og sikker metode for identifisering av korrosjonsprodukter. Resultatene bidro til en nyansering av dette bildet. Metoden er riktignok spesielt egnet for analyse av krystallinsk materiale, problemet i forhold til jernkorrosjon er at disse produktene ikke nødvendigvis er like krystallinske som først antatt og som implisitt gitt inntrykk av i publisert konserveringslitteratur rundt metoden. Ettersom korrosjonsprodukter dannes relativt hurtig vil disse være delvis amorfe. Som en konsekvens demonstrerer analysespektraene mye bakgrunnsstøy og uidentifiserbare topper (f.eks. figur 149). Dette er i stor grad forstyrrende for tokning av prøvene og kan i verste fall medføre at enkelte tilstedeværende produkter ikke blir registrert (pers. komm. Hans-Jørgen Berg). På tross av nevnte ulemper ved metoden var det mulig å identifisere visse produkter både før og etter behandling. Goethitt var ikke overraskende tilstede hos alle gjenstandene før behandling. Mer uventet var den fullstendige mangelen på kloridholdige produkter med tanke på flere av gjenstandenes relativt nedbrutte tilstand. Av mer uvanlige produkter kan nevnes plumbojarositt og jernfosfat på gjenstand NSM 03010078 x 758 (huggert). Jernfosfat kan muligens tolkes i sammenheng med nedbrutt benmateriale som var registrerte materialer i huggertens arkeologiske kontekst (Jernbanetorget NSM 03010078, 2008, s. 7). Tolkninger rundt plumbojarositt er mer usikre. Jarositt er et svovelholdig produkt og svovelets kilde kan enten være råtnende organisk materiale eller svovelreducerende bakterier i anaerobe kontekster. En forklaring på blyinnholdet (plumbo, Pb²⁺) er spesielt vanskelig da det er usikkert om kilden er gjenstanden selv, relaterte materialer eller selve jordsmonnet. Slike tolkningsutfordringer demonstrerer relevansen av utvidet samarbeid mellom konservatorer og feltarkeologer i relasjon til tolkning av gjenstander og forholdet mellom gjenstand og arkeologisk kontekst.

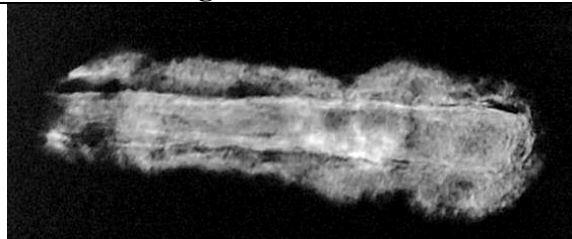
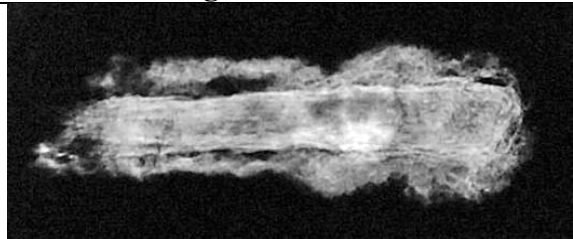
Korrosjonsproduktene etter behandling er i stor grad de samme som før behandling. Dette på tross av at noe fargeendring på overflateproduktene kan påvises hos enkelte av gjenstandene, hvor disse er mer utpreget gråaktige og svakt røde etter behandling i motsetning til oransjbrune før behandling (se vedlegg I). Resultatene fra XRD analysene er viktige da de

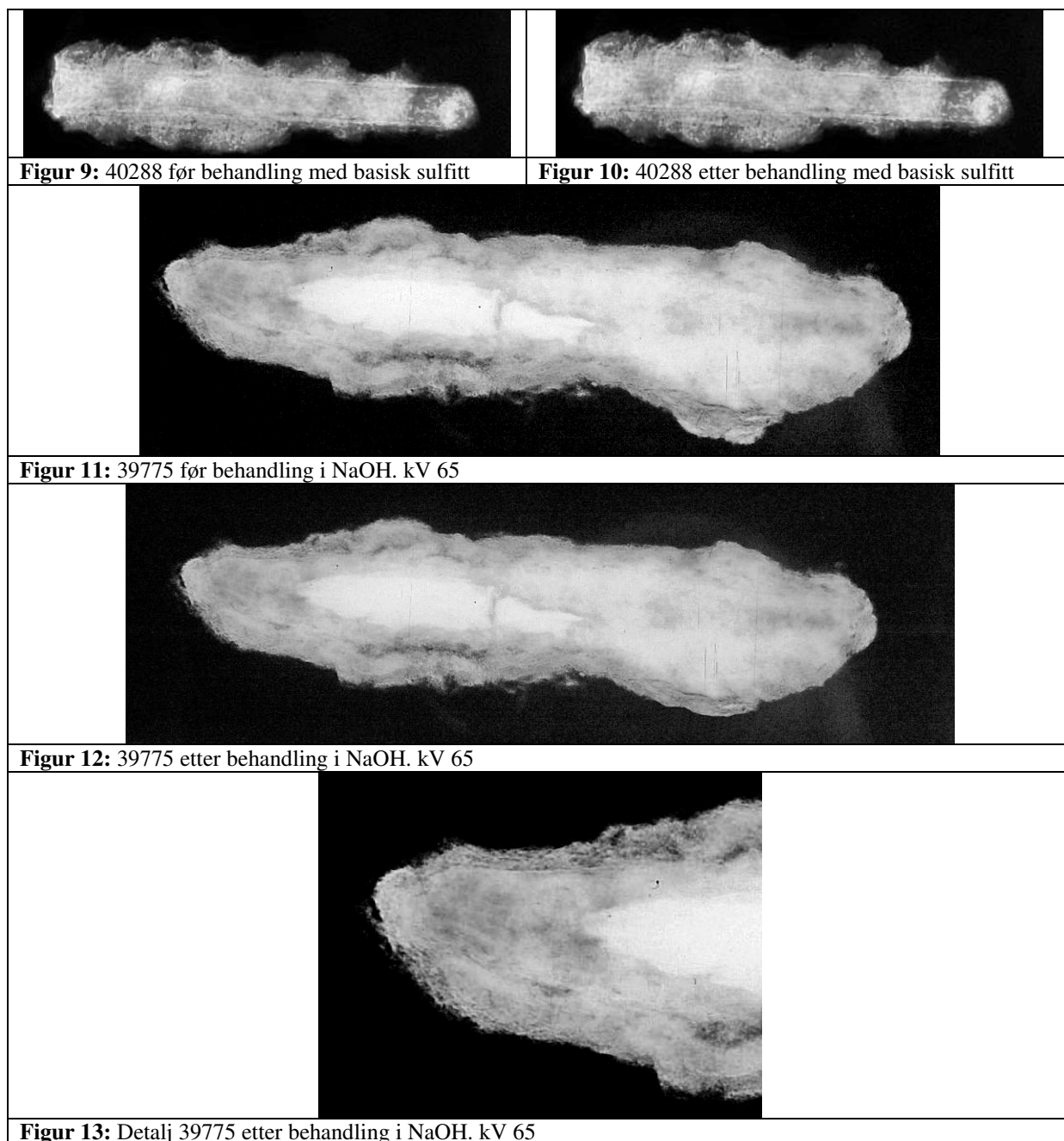
demonstrerer at verken behandling med basisk sulfitt, natriumhydroksid eller natriumhydroksid i oksygenfritt miljø ved ESCAL/RP systemet nødvendigvis virker reduserende på jernoksider. Hadde dette vært tilfelle ville goethitt ikke blitt registrert etter behandling mens magnetitt trolig ville vært det dominerende produktet. Resultatene fra eksperimentet styrker dermed teorien rundt basisk sulfitt som reduserende kun ved tilstedeværelsen av et overskudd av Fe^{2+} ioner i korrosjonsmassen (Schmutzler og Ebinger-Rist, 2008, s. 251; Gilberg og Seeley, 1982, s. 182). De få tilfellene hvor korrosjonsprodukter før og etter behandling ikke er overensstemmende er dette sannsynligvis en konsekvens av at prøveuttak ikke har blitt gjort fra nøyaktig samme sted før og etter behandling. Dette kan trolig anses som en vanlig feilkilde ettersom korrosjonslag hos jern er karakteristisk uhomogene. Tilstedeværelsen av chalcopyritt (CuFeS_2) istedenfor plumbojarositt på nevnte gjenstand NSM 03010078 x 758 er trolig et slikt tilfelle. Tilstedeværelsen av kobber-jernforbindelsen chalcopyritt er interessant i seg selv. Dette produktet har blitt registrert på gjenstander som et bevisst påført dekorlag av pseudo-forgylling. Samtidig er det også et faktum at produktet kan dannes naturlig dersom kobberforbindelser er tilstede i jordsmonnet i tillegg til svovelreduserende bakterier. At produktet kun ble registrert på huggertens hjalte kan indikere førstnevnte ettersom dekor her er en spesielt realistisk mulighet. Samtidig tyder også produktet plumbojarositt på tilstedeværelsen av svovelreduserende bakterier som et argument for sistnevnte situasjon. Ingen sikre konklusjoner kan trekkes, men analyseresultatene og påfølgende drøftelse demonstrerer allikevel hvordan korrosjonsprodukter kan fungere som informasjonskilde.

Gjenstandens originale overflate

Lokalisering av original overflate med røntgenanalyse før og etter behandling

Av de analyserte gjenstandene var det hos tre av syv mulig å se avgrensningen av det som trolig er original overflate. Disse følger under. For de resterende henvises det til vedlegg III.







Før behandling	Etter behandling
	
Figur 7: 39002 før behandling med NaOH. kV 65	Figur 8: 39002 etter behandling med NaOH. kV 65

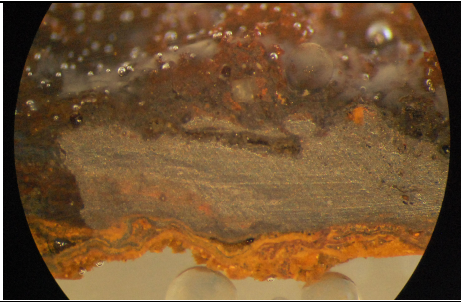
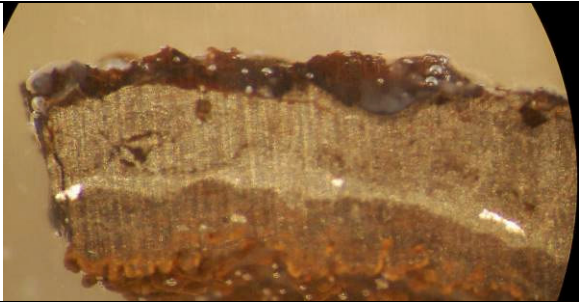




Figurer 7 - 13 demonstrerer hvordan original overflate kan lokaliseres i voluminøse korrosjonslag ved hjelp av røntgenanalyse. Gjennom testing av forskjellig kV ble det for nevnte gjenstander erfart at en hvit linje representativ for original overflate i størst grad kunne oppdages ved 65 kV. Linjen er tydeligst hos gjenstand 40288 og 39002, men også for gjenstand 39775 kan det i venstre ende ses et tynt omriss som indikerer formen på enden av et knivblad (figur 13). Dersom omrisset ikke ble avslørt av røntgenanalysen ville tolkning av gjenstandens form og funksjon vært vanskelig. Røntgenanalyse utført etter konserveringsbehandlinger indikerer også at disse har minimale konsekvenser for lokalisering av original overflate, ettersom de samme hvite linjene er synlige etter behandling. Dette

demonstrerer behandlingenes relevans over eksempelvis elektrolyse, som for gjenstand 39775 trolig ville forårsaket en ukontrollert fjerning av korrosjon, inkludert original overflate, og eksponert den gjenværende metallkjerne som er lite representativ for gjenstandens opprinnelige form. På tross av at presenterte eksempler bekrefter analysemetodens potensiale, er det også et faktum at ingen klar lokalisering var mulig for de resterende fem gjenstandene. Bakgrunnen for dette er trolig en kombinasjon av grad av nedbrytning hos gjenstandene og fragmentering av original overflate ved ekspansjonen av andre produkter. Undersøkelsene tyder også på at en original overflate er klarest gjenkjennelig ved røntgenanalyse i tilfeller hvor det er lite metallkjerne igjen. Tverrsnittundersøkelse av korrosjon vil dermed kunne avklare om en original overflate kan gjenkjennes og avgrenses hos gjenstander med mer gjenværende metallkjerne på tross av at røntgenanalyse ikke indikerer dette.

Lokalisering av original overflate ved tverrsnittundersøkelse før og etter behandling og identifisering av antatt original overflate med XRD analyse

Før behandling	Etter behandling
	
Figur 14: NSM 03010078 x 758. korrosjon fra øverst på blad. Før behandling med basisk sulfitt	Figur 15: NSM 03010078 x 758. Korrosjon fra øverst på blad. Etter behandling med basisk sulfitt
	
Figur 16: NSM 03010078 x 758. korrosjon fra nederst på blad. Før behandling med basisk sulfitt	Figur 17: NSM 03010078 x 758. korrosjon fra nederst på blad. Etter behandling med basisk sulfitt
	
Figur 18: NSM 03010078 x 758. korrosjon fra hjalte. Før behandling med NaOH	Figur 19: NSM 03010078 x 758. korrosjon fra hjalte. Etter behandling med NaOH

	
Figur 20: A94/136. korrosjon fra øksehode. Før behandling med basisk sulfitt	Figur 21: A94/136. korrosjon fra øksehode. Etter behandling med basisk sulfitt
	
Figur 22: 39775. korrosjon fra blad. Før behandling med NaOH	Figur 23: 39775. korrosjon fra blad. Etter behandling med NaOH

Tverrsnittene av korrosjonslag fra tre forskjellige gjenstander demonstrerer for to av disse tilstedeværelsen av et distinkt grått lag i korrosjonsstratigrafien. For begge gjenstandene kunne original overflate ikke lokaliseres ved røntgenanalyse, tverrsnittene viser dermed at negativt resultat på røntgenbilde ikke nødvendigvis betyr at en original overflate ikke er tilstede. Sammenlignet opp mot foreslåtte markører for original overflate nevnt i teorikapittelet er det mulig å både bekrefte og avkrefte noen av disse. At produktet direkte under grensen til original overflate er magnetitt ble bekreftet ved XRD analyse av grått produkt tilsvarende grått korrosjonslag i tverrsnitt figur 18 og 20. Derimot ble grått produkt tilsvarende grå korrosjon i figur 14 og 22 hos førstnevnte identifisert som jernfosfat og for sistnevnte kun som goethitt. Produktet maghemitt er i motsetning til hva publiserte undersøkelser påpeker ikke identifisert, verken som innslag i magnetitt eller direkte over dette. Forslaget til markør som øvre grense av et mørkt kompakt produkt direkte overliggende metallkjernen kan delvis bekreftes. Unntaket i denne sammenheng er tverrsnittene fra gjenstand A94/136 hvor produktet direkte over metalloverflaten er porøst og oransjefarget mens et kompakt grått identifisert som magnetitt ligger over dette igjen. Denne markøren er også noe problematisk i forhold til figur 14 hvor det grå produktet ikke har en klar øvre avgrensning men heller delvis ekspanderer oppover og blandes inn i lag som inneholder jordpartikler. Ettersom en annen fysisk markør er mangelen på jordpartikler i produktet under grensen for original overflate, presenterer tverrsnitt figur 14 dermed en uoverensstemmelse mellom markører. Tverrsnitt i figur 22 er ytterligere atypisk ved mangelen på et horisontalt

grått lag i stratigrafien, kun i venstre ytterkant synes tendenser til et grått produkt. Atypisk er også stratigrafien etter behandling hvor det grå produktet er distribuert tilsynelatende tilfeldig i korrosjonsmassen.

Sammenfattende demonstrerer tverrsnittundersøkelsene av korrosjon fra tre ulike objekter problemene ved anvendelsen av kun en ekskluderende markør for lokalisering av grensen til original overflate i en korrosjonsstratigrafi. Når Neff m. fl. (2004, s. 745) foreslår en utarbeidelse av stratigrafiske korrosjonstypologier for jern fra ulike kontekster for slik å kunne komme med en sikrere lokalisering av original overflate, bør dette dermed betraktes som et relevant tiltak. Det kan allikevel argumenteres for at selv slike kontekstrelaterte typologier vil bli ufullstendige, ettersom tverrsnitt fra gjenstand NSM 03010078 x 758 viser at korrosjonsstratigrafi kan være varierende selv innenfor en og samme gjenstand. I direkte relasjon til utfordringen ved å velge relevant nivå ved en eventuell mekanisk rensing, vil tverrsnittresultatene utgjøre et godt argument for at kombinasjonen av to markører vil være nødvendig. Trolig vil grensen mellom et kompakt grått lag (produkt nevnes ikke ettersom dette antagelig kan variere), og et lag som i større eller mindre grad inneholder jord/sandpartikler være et godt utgangspunkt.

Tverrsnitt tatt ut etter konserveringsbehandling kan ikke sies å avvike fra tverrsnitt før behandling i stor nok grad til at dette bør tolkes som en konsekvens av avsaltingsmetoden. Lagstrukturer og farger på produkter er i hovedsak identiske før og etter behandling, noe som overensstemmer med XRD resultatene som avkrefter basisk sulfitt som reduserende på jernoksider. At tverrsnitt fra gjenstand 39775 før og etter behandling er tydelig forskjellige er trolig ikke et resultat av behandling men heller gjenstandens svært uhomogene korrosjonsmasse. At behandlingene angivelig skal forårsake økt porøsitet og oppsprekking i korrosjonslag (Selwyn, 2004, s. 301) ble delvis bekreftet ved observasjon av disse tendensene i de øvre korrosjonslagene, men dette så derimot ikke ut til å være gjeldende for grått produkt relevant som markør for original overflate.


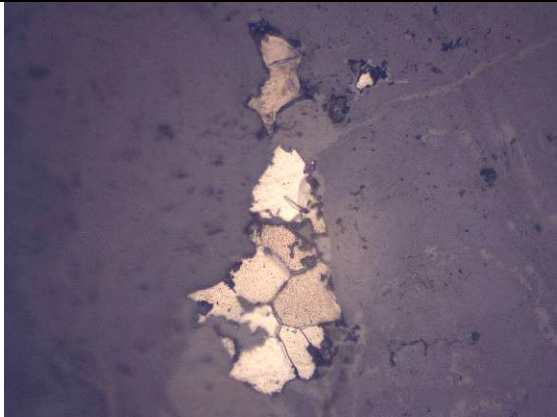

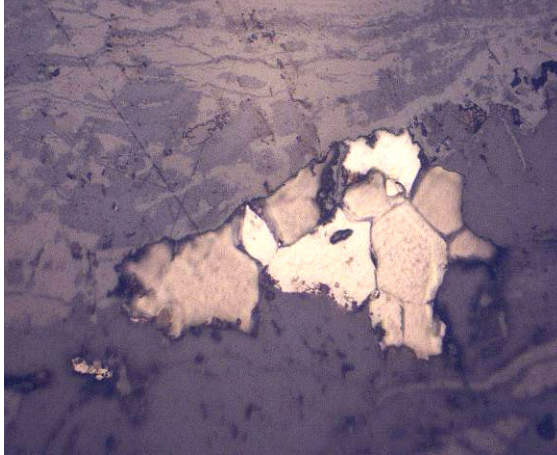


Gjenstandens tilvirkning

Røntgenanalyse

Røntgenanalyse viste ingen tegn til sveiselinjer hos noen av gjenstandene. Ettersom analysen ble utført med forskjellige innstillinger, antas det at de negative resultatene kan tas som en

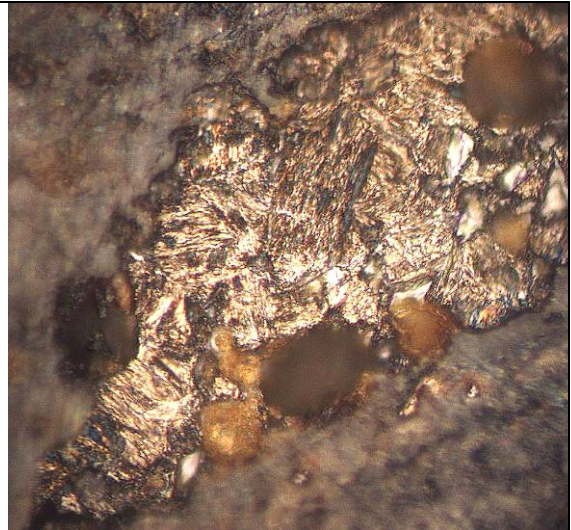
indikasjon på at ingen avansert sveising har blitt utført eller at korrosjonsforholdene i jorden ikke har lagt grunnlaget for relevante uhomogene korrodering.

Metallografisk analyse

Før behandling	
	
Figur 24: A94/136. 200X. Gjenværende metallinklusjon i grått kompakt korrosjonslag. Etset.	Figur 25: A94/136. 400X. Gjenværende metallinklusjon. Etset. Tolket som ferritt + perlitt
	
Figur 26: A94/136. 200X. Gjenværende metallinklusjon i grått kompakt korrosjonslag. Ikke etset.	Figur 27: A94/136. 400X. Gjenværende metallinklusjon. Etset. Tolket som ferritt og perlitt.
	
Figur 28: A94/136. 200X. Gjenværende metallinklusjon i grått kompakt korrosjonslag. Ikke etset.	Figur 29: A94/136. 400X. Gjenværende metallinklusjon. Etset. Tolket som ferritt og perlitt.

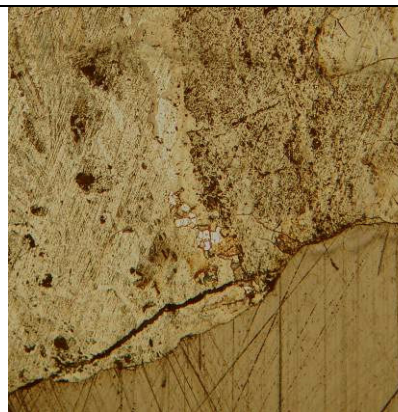


Figur 30: NSM 03010078 x 758. 300X. Gjenværende metallinklusjon i grått kompakt korrosjonslag ved bladegg. Ikke etset.

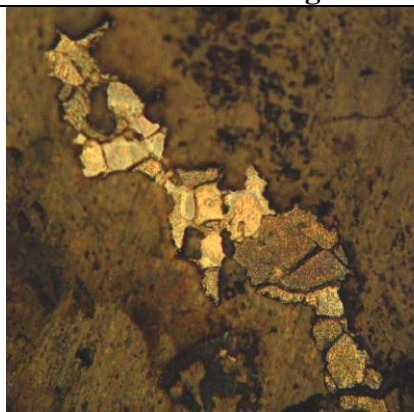


Figur 31: NSM 03010078 x 758. Gjenværende metallinklusjon. Etset. Tolket som martensitt.

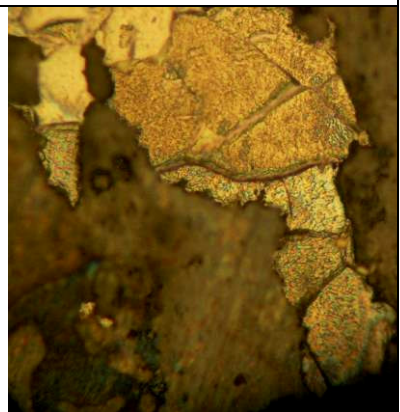
Etter behandling



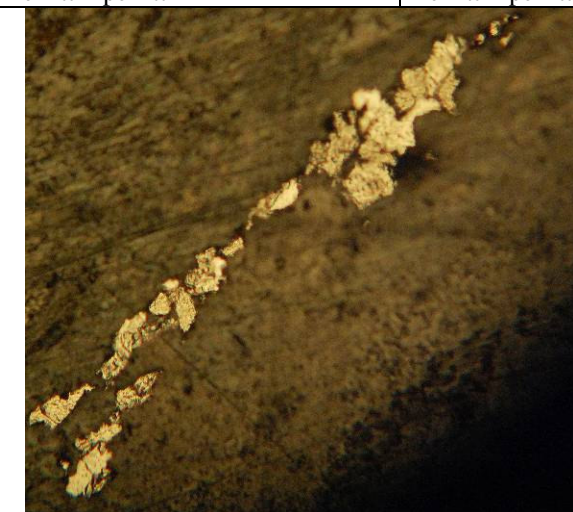
Figur 32: A94/136. Gjenværende metallinklusjon i grått lag. Etset. Ferritt + perlitt



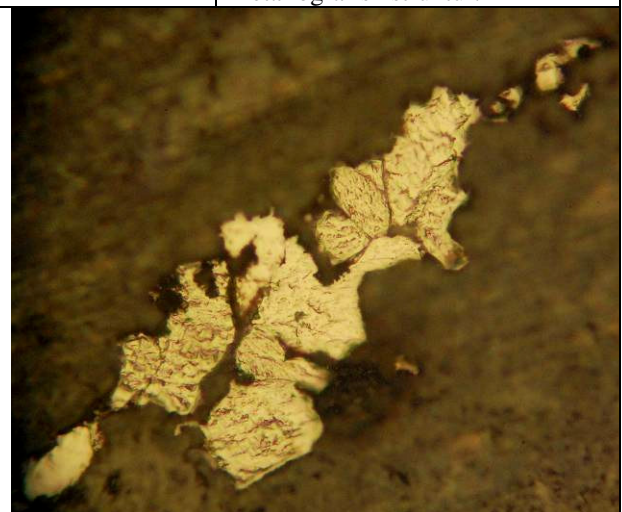
Figur 33: A94/136. Gjenværende metallinklusjon i grått lag. Etset. Ferritt + perlitt



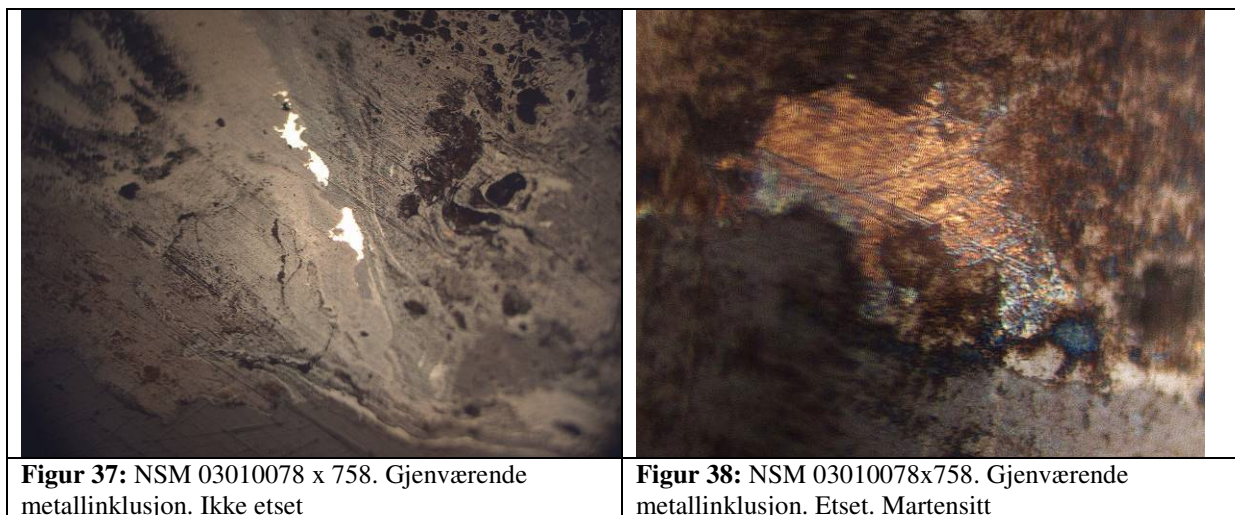
Figur 34: A94/136. Ferritt + perlitt Delvis fossilisert metallografisk struktur.



Figur 35: A94/136. Gjenværende metallinklusjon i grått lag. Etset. Ferritt + perlitt



Figur 36: A94/136. Gjenværende metallinklusjon i grått lag. Etset. Ferritt og perlitt



Gjenværende metallinklusjoner i korrosjon ble registrert hos to av syv gjenstander, i begge tilfeller var det mulig å uthente metallografisk informasjon fra inklusjonene som bidrar til teknologisk kunnskap rundt gjenstanden. Inklusjonene er lett gjenkjennelige som lyse punkter i korrosjonsstratigrafien sett under stereomikroskop (figur 21). Som det kommer frem av figur 21, 24, 26, 28 og 30 er alle inklusjonene funnet i øverste nivå av grått kompakt korrosjonsprodukt i korrosjonsstratigrafien. Denne trenden er så tydelig konsekvent at undersøkelsen kan betraktes som oppklarende i relasjon til tidligere nevnte usikkerhet rundt en eventuell systematisk lokalisering av fenomenet (Scott, 1989, s. 13). Dette er relevant da undersøkelser blir mer tidseffektive dersom man vet hvor interessante fenomener er lokalisert. Det ble ikke oppdaget fullstendig fossiliserte strukturer hos noen av gjenstandene, mens delvis fossilisert struktur ble observert kun hos gjenstand A94/136 (figur 34).

Alle metallografisk strukturer hos gjenstand A94/136 (øksehode) tolkes på bakgrunn av kornkarakteristikker hovedsakelig som ferritt med svake innslag av perlitt synlig ved korn i en noe mørkere farge (Samuels, 1999, s. 65-67). Kombinasjonen av ferritt og perlitt oppstår gjerne hos lav-karbon stål når austenitt (gamma jern) nedbrytes ved en eutectoid reaksjon rundt 700 grader celsius (Scott, 1991, s. 17). Tilstedeværelsen av mer ferritt enn perlitt indikerer et lavt karboninnhold, trolig under 0,8 %, og en relativt langsom avkjøling av jernet (Scott, 1991, s. 132). Lavt karboninnhold bekreftes også av de tynne og noe diffuse grensene mellom ferrittkornene, spesielt synlig i figur 36 (Samuels, 1999, s. 64). Kornene bærer lite preg av deformasjon etter hamring/ bearbeiding. Dette tyder på at øksehodet ble herdet etter ferdig bearbeiding og strukturen dermed rekrystallisert (Scott, 1991, s. 8). Denne formen for varmebehandling har en mykgjørende effekt på materialet. Det lave karboninnholdet og langsom avkjøling resulterer til sammen i et relativt mykt jernprodukt som kun diskutabelt

kan kalles lavkarbon stål. Intensjonelt eller uintensjonelt har smeden tilvirket et øksehode som ikke er spesielt hardt men som derimot er slitesterkt og lite sprøtt, relevante kvaliteter for et bruksredskap.

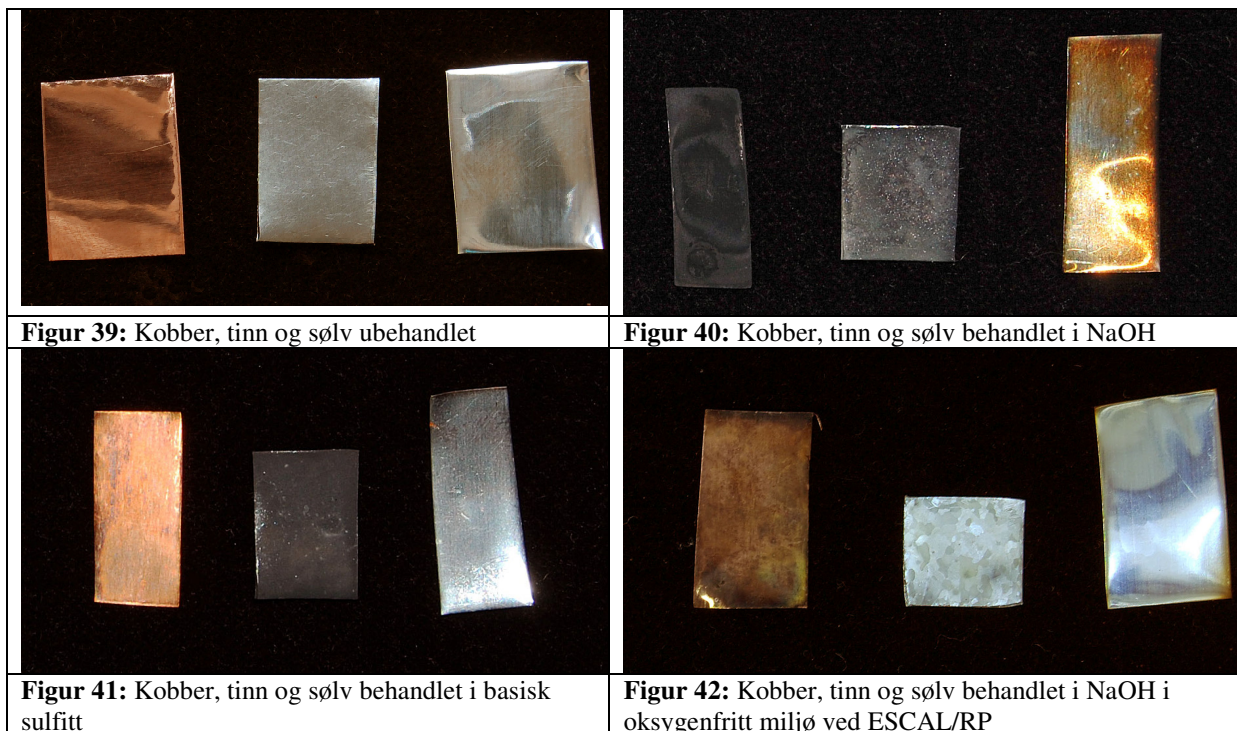
Metallografisk struktur hos gjenstand NSM 03010078 x 758 (huggert) tolkes på bakgrunn av kornkarakteristikker som martensitt. Martensitt karakteriseres ved varianter av en nållignende struktur, og tilvirkes ved brå avkjøling av lavkarbon stål i kaldt vann (Scott, 1991, s. 33). Av to hovedtyper martensitt tolkes den observerte hos gjenstand NSM 03010078 x 758 som *plate* martensitt (Scott og Eggert, 2009, s. 7), og har trolig et karboninnhold på ca 1 %. Det høye karboninnholdet i kombinasjon med bråkjøling forårsaker et hardt og sprøtt stål som kan gjøres svært skarpt. Det er dermed logisk å finne denne strukturen i korrosjon på huggertens bladegg, hvor hardhet og skarphet vil være relevante egenskaper. Medfølgende sprøhet vil allikevel være uheldig dersom registrerte struktur har vært gjeldende for hele bladet. Ettersom det ikke ble funnet informative inklusjoner i prøve fra annet område på bladet kan det ikke gjøres tolkninger rundt eventuell variasjon i karboninnhold i ulike deler av gjenstanden for å gi denne optimale egenskaper. Denne mangelen på helhetlig informasjon demonstrerer svakheten ved anvendelsen av korrosjon som informasjonskilde til gjenstandens tilvirkning. Også det faktum at det kun var mulig å finne informative inklusjoner hos to av syv gjenstander legger visse begrensninger i forhold til i hvilken grad det er mulig å basere seg på metoden i alle tilfeller. Den gir ingen garanterte resultater. Det kan allikevel argumenteres for at utførte undersøkelser tydelig viser verdien av korrosjonsprodukters potensiale innenfor metallografi i de tilfellene hvor inklusjoner er funnet. Dette er spesielt gjeldende i tilfeller hvor gjenværende metallkjerne er redusert i en slik grad at uttak fra denne uansett ikke vil gi helhetlig informasjon.

Som prøveuttakene etter behandling demonstrerer er det lite som tyder på at behandling med natriumhydroksid eller basisk sulfitt har uheldige konsekvenser for metallografisk informasjon i korrosjon. Hos gjenstand A94/136 kan ferritt og perlittstruktur fortsatt registreres mens en svak martensittstruktur er observerbar hos NSM 03010078 x 758. Det var heller ikke forventet at behandlingene ville påvirke metallografisk informasjon ettersom de ikke innebærer ekstrem varmepåføring på materialet. Det var allikevel ansett som noe usikkert om behandlingene ville forårsake oppsprekking i korrosjonsproduktene og hvordan dette eventuelt ville påvirke inklusjonenes integritet. Som nevnt kunne det ikke registreres noen økt skjørhet eller oppsprekking i det kompakte grå produktet relatert til original

overflate. Ettersom alle inklusjoner ble funnet i dette laget hadde behandlingene ingen negative konsekvenser for deres ivaretagelse.

Gjenstandens dekor

Røntgenanalyse viste ingen tegn på tilstedeværelse av innleggsmetaller hos noen av gjenstandene. For å kunne vurdere behandlingenes innvirkning på typiske innleggsmetaller ble metallkupper av kobber, tinn og sølv derfor behandlet sammen med jernet. Både kobber, tinn og sølv demonstrerte hva man kan kalle uakseptabel fargeendring i NaOH (Thickett og Lee, 2004, s. 14). I basisk sulfitt demonstrerte sølv en akseptabel fargeendring mens kobber fikk en blekere farge og tinn ble også her mørkt. Behandling i desoksider NaOH ved ESCAL/RP systemet forårsaket minst uheldige fargeendringer og var dermed å anse som mest relevant behandling i denne sammenhengen. Noe overraskende var det at tinn korroderte i relativt ekstrem grad i NaOH og basisk sulfitt da potensialmålinger demonstrerer passivering (figur 2). Resultatene sett under ett indikerer at tilstedeværelsen av oksygen under behandling er faktoren som hovedsakelig forårsaker korrosjon. Indirekte demonstrerer resultatene derfor også at basisk sulfitt ikke nødvendigvis er en like oksygenfri behandling som innledningsvis antatt.



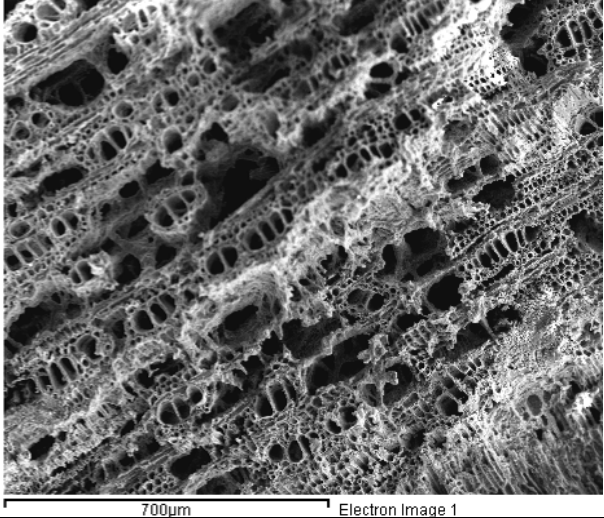
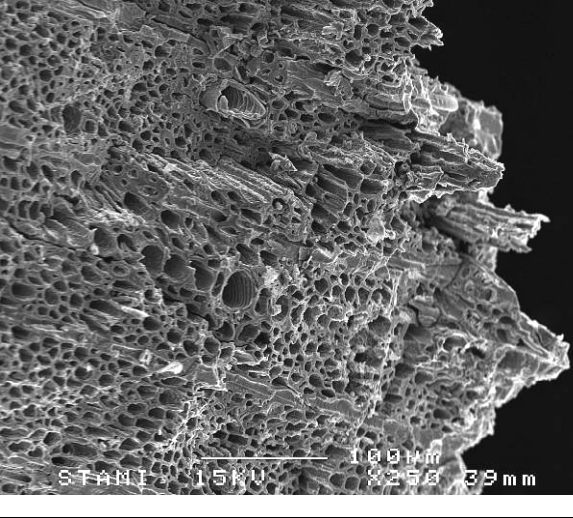


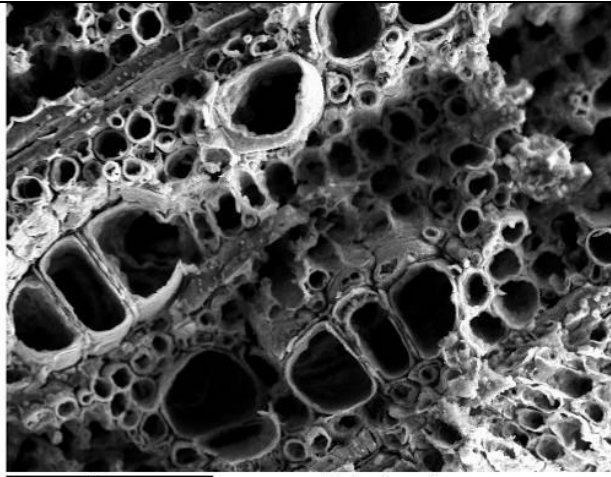
Tilknyttet organisk materiale og mineralisert organisk materiale

Røntgenanalyse for oppdaging av mineralisert organisk materiale

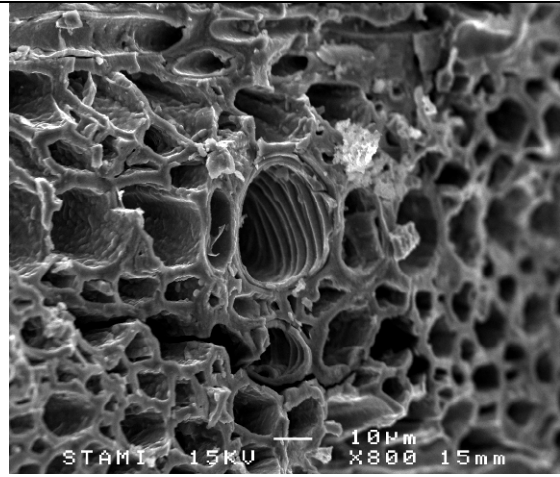
Det var ikke mulig å observere tilstedeværelse av mineralisert organisk materiale på jerngjenstandene ved hjelp av røntgenanalyse, selv ikke når innledende visuell analyse hadde indikert den nøyaktige lokaliseringen av dette materialet på objektet og det relevante område og materialets struktur dermed var visst. Oppdaging av mineralisert organisk materiale kan dermed ikke baseres på røntgen, men krever en grundig visuell analyse under forstørrelse for hver enkelt gjenstand.

SEM-analyse for karakterisering og identifisering av mineralisert organisk materiale.

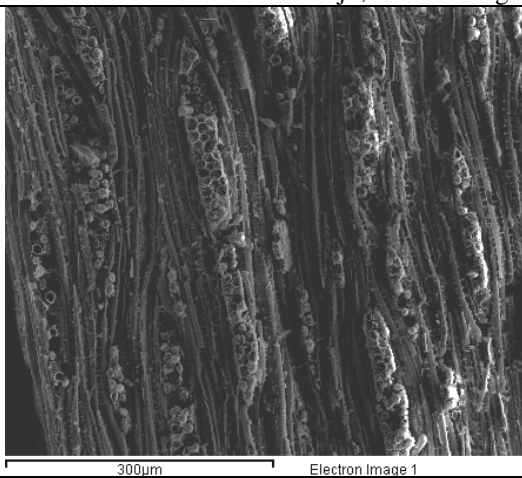
Før behandling	Etter behandling
	
Figur 43: A94/136. Mineralisert tre før behandling med basisk sulfitt.	Figur 44: A94/136. Mineralisert tre etter behandling med basisk sulfitt.
	
Figur 45: A94/136. Tverrsnitt før behandling	Figur 46: A94/136. Tverrsnitt etter behandling



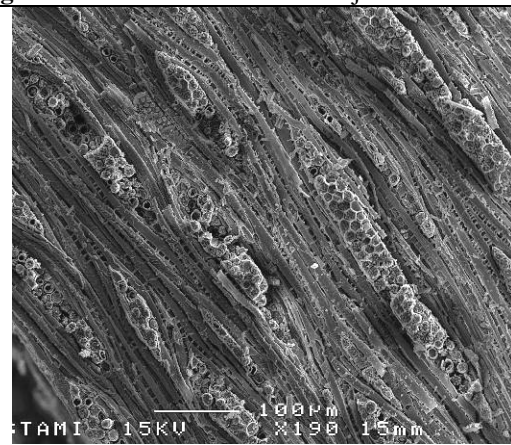
Figur 47: A94/136. Tverrsnittdetalj før behandling



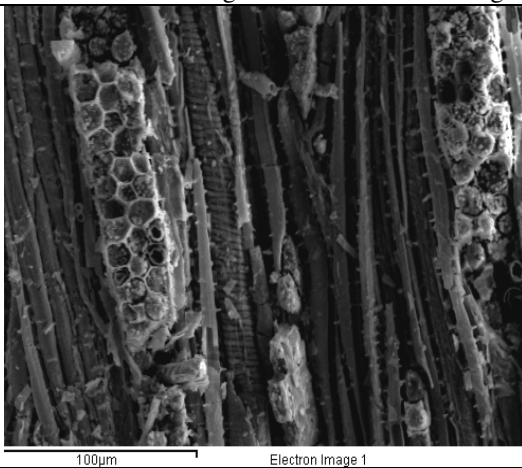
Figur 48: A94/136. Tverrsnittdetalj etter behandling



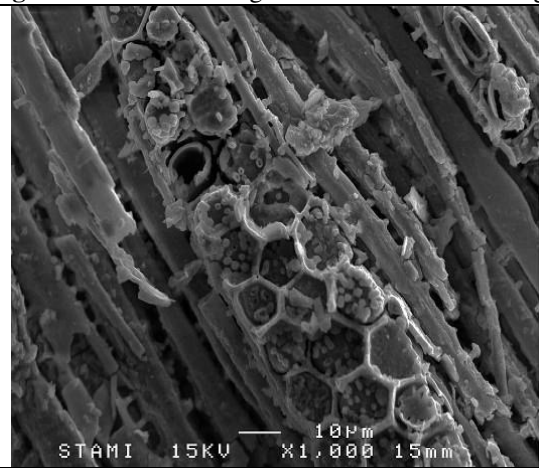
Figur 49: A94/136. Tangentialsnitt før behandling



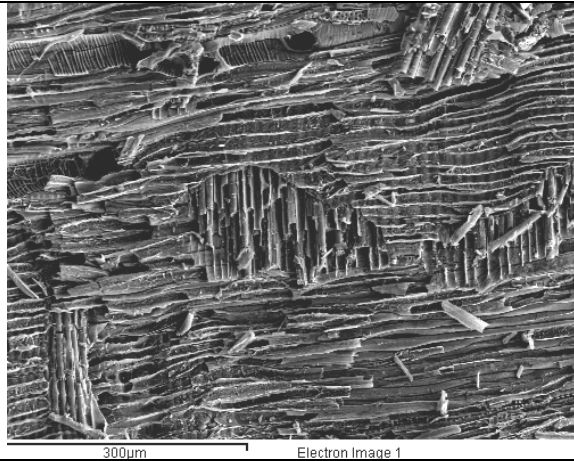
Figur 50: A94/136. Tangentialsnitt etter behandling



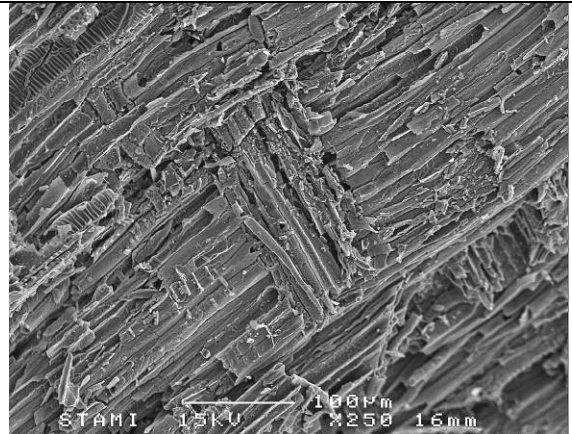
Figur 51: A94/136. Tangentialsnittdetalj før behandling



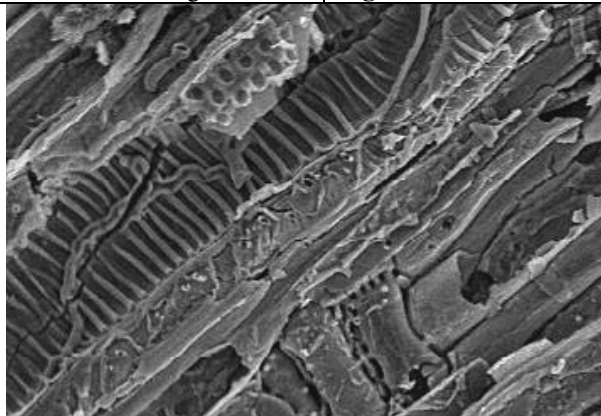
Figur 52: A94/136. Tangentialsnittdetalj etter behandling



Figur 53: A94/136. Radialsnitt før behandling



Figur 54: A94/136 Radialsnitt etter behandling



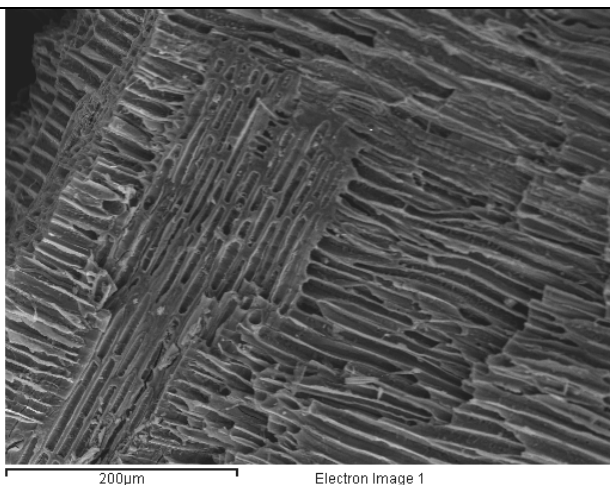
Figur 55: A94/136. Radialsnittdetalj etter behandling. Stigeformet perforasjon

Element	Atomic%
O K	60.63
Al K	1.80
Si K	0.39
Fe K	37.18

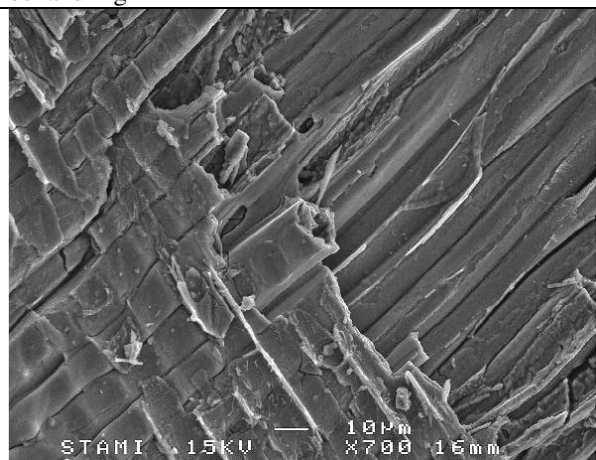
Figur 56: A94/136. Grunnstoffanalyse før behandling

Element	Atomic%
O K	60.29
Na K	3.79
Al K	1.63
Si K	0.71
S K	0.47
Fe K	33.11



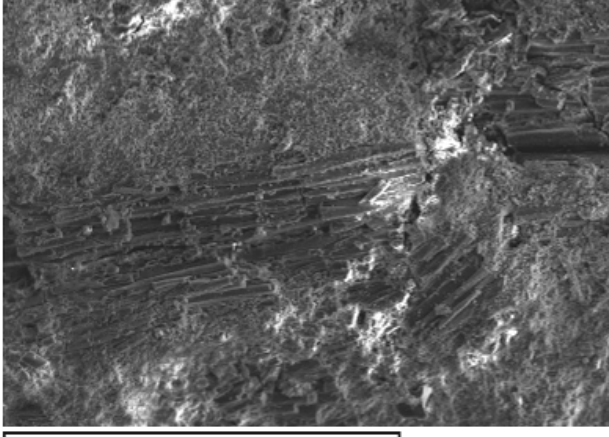
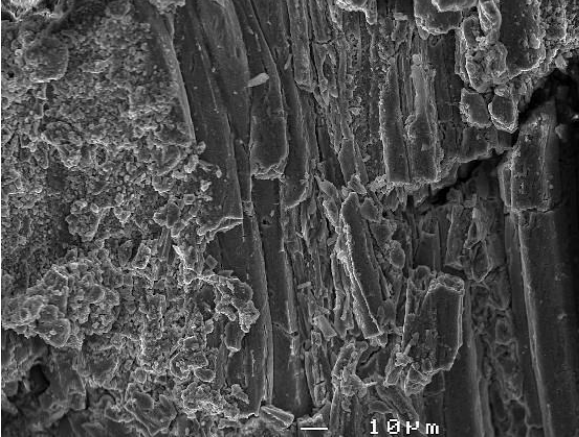
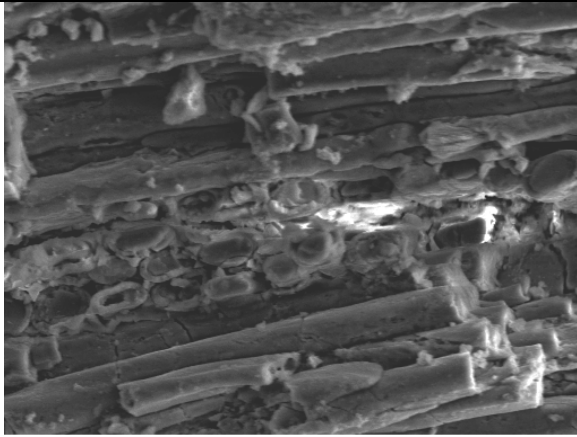
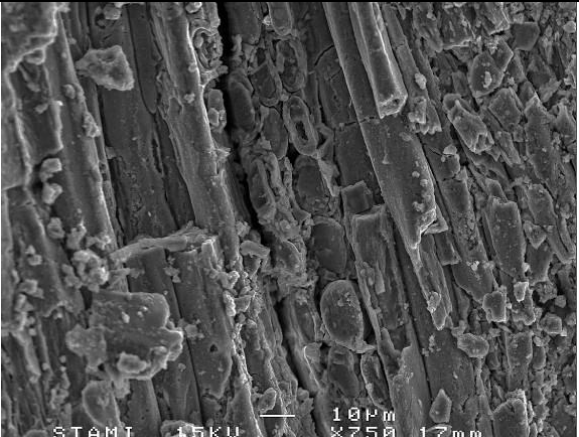
Figur 57: A94/136. Grunnstoffanalyse etter behandling



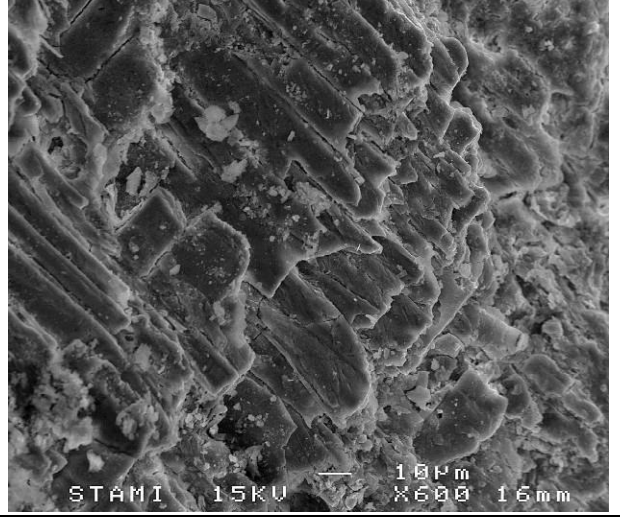
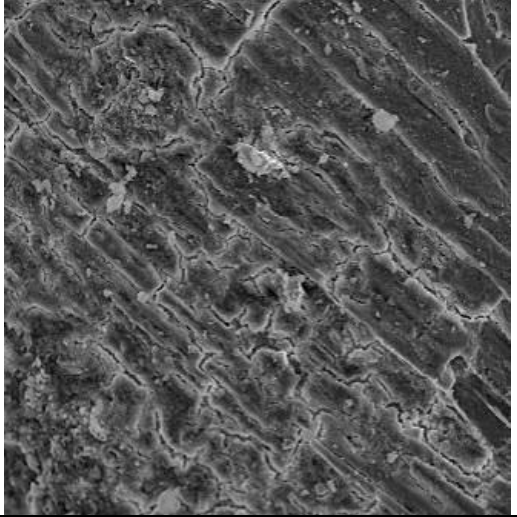




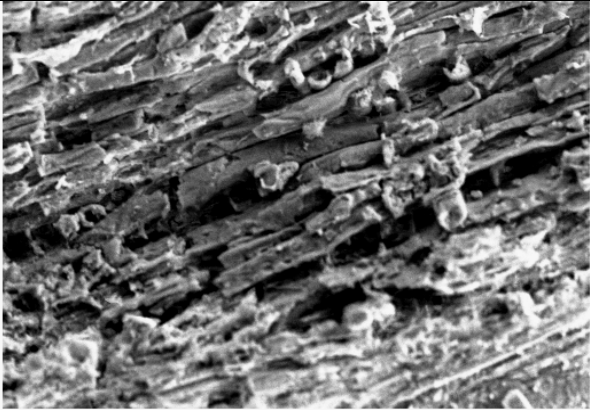
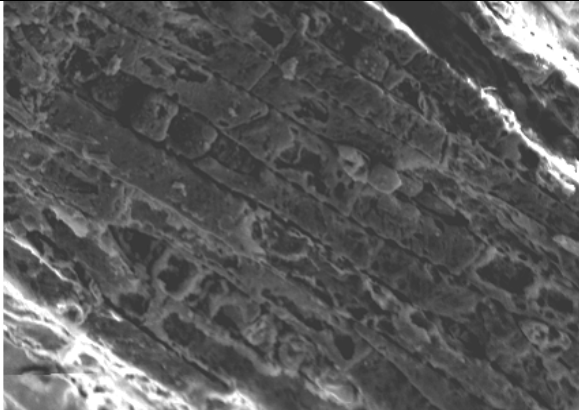

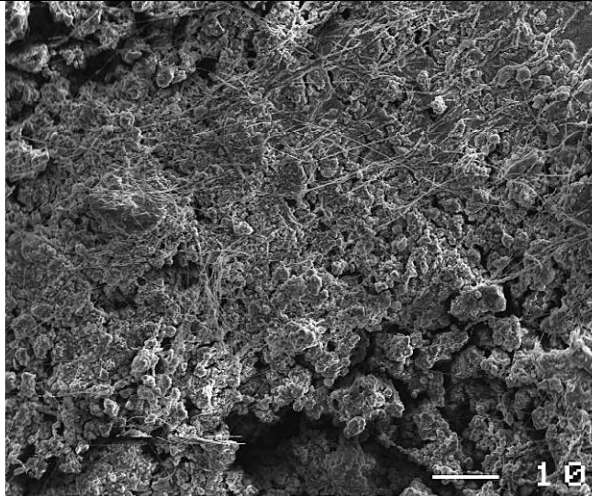
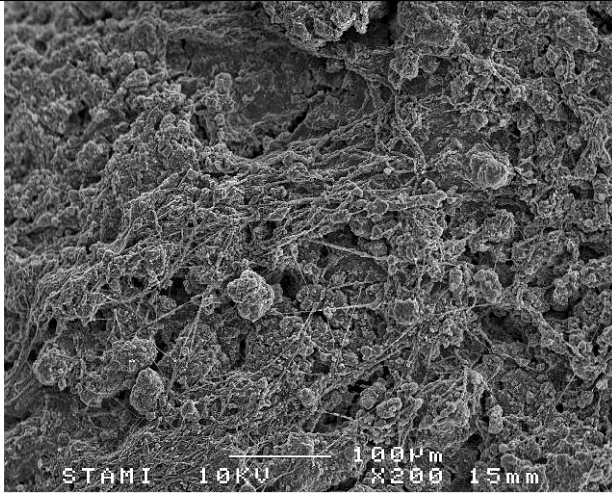
Figur 58: A94/136. Radialsnitt etter konsolidering og behandling


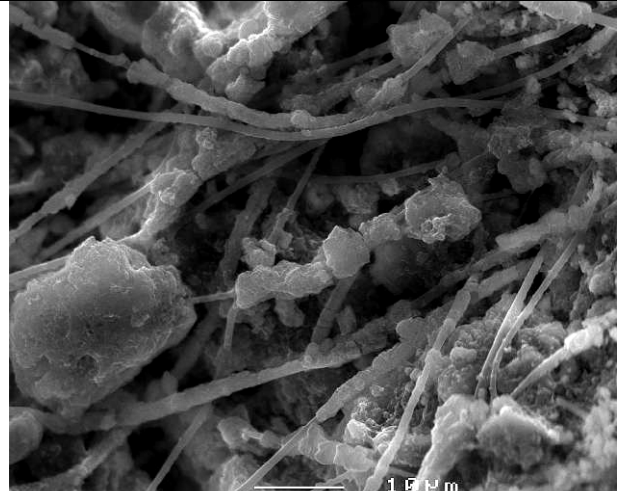


Figur 59: A94/136. Radialsnittdetalj etter konsolidering og behandling

																					
Figur 60: NSM 03010078 x 758. Hjalte med mineralisert tre før behandling med NaOH	Figur 61: NSM 03010078 x 758. Hjalte med mineralisert tre etter behandling med NaOH.																				
 500µm Electron Image 1	 10µm																				
Figur 62: NSM 03010078 x 758. Mineralisert tre før behandling	Figur 63: NSM 03010078 x 758. Mineralisert tre etter behandling																				
 80µm Electron Image 1	 STAMI 15KV 10µm X750 17mm																				
Figur 64: NSM 03010078 x 758. Mineralisert tre før behandling. Detalj. Trolig tangentialsnitt	Figur 65: NSM 03010078 x 758. Mineralisert tre etter behandling. Detalj. Trolig tangentialsnitt																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th><th>Atomic%</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>O K</td><td>40.65</td></tr> <tr> <td>Fe K</td><td>29.24</td></tr> <tr> <td>Cu K</td><td>19.66</td></tr> <tr> <td>Zn K</td><td>10.44</td></tr> </tbody> </table>	Element	Atomic%	O K	40.65	Fe K	29.24	Cu K	19.66	Zn K	10.44	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th><th>Atomic%</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>O K</td><td>40.66</td></tr> <tr> <td>Fe K</td><td>29.23</td></tr> <tr> <td>Cu K</td><td>19.66</td></tr> <tr> <td>Zn K</td><td>10.44</td></tr> </tbody> </table>	Element	Atomic%	O K	40.66	Fe K	29.23	Cu K	19.66	Zn K	10.44
Element	Atomic%																				
O K	40.65																				
Fe K	29.24																				
Cu K	19.66																				
Zn K	10.44																				
Element	Atomic%																				
O K	40.66																				
Fe K	29.23																				
Cu K	19.66																				
Zn K	10.44																				
Figur 66: NSM 03010078 x 758. Grunnstoffanalyse før behandling	Figur 67: NSM 03010078 x 758. Grunnstoffanalyse etter behandling																				

																													
Figur 68: 39775. Mineralisert organisk knivskift før behandling med NaOH	Figur 69: Mineralisert organisk knivskift etter behandling med NaOH																												
																													
Figur 70: 39775. Mineralisert organisk knivskift før behandling. Muligens horn	Figur 71: 39775. Mineralisert organisk knivskift etter behandling. Muligens horn																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th><th>Atomic%</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>O K</td><td>51.73</td></tr> <tr><td>Al K</td><td>1.62</td></tr> <tr><td>Si K</td><td>1.19</td></tr> <tr><td>P K</td><td>8.44</td></tr> <tr><td>K K</td><td>0.33</td></tr> <tr><td>Ca K</td><td>1.06</td></tr> <tr><td>Fe K</td><td>35.63</td></tr> </tbody> </table>	Element	Atomic%	O K	51.73	Al K	1.62	Si K	1.19	P K	8.44	K K	0.33	Ca K	1.06	Fe K	35.63	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th><th>Atomic%</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>O K</td><td>68.05</td></tr> <tr><td>Si K</td><td>0.94</td></tr> <tr><td>P K</td><td>2.45</td></tr> <tr><td>Ca K</td><td>2.56</td></tr> <tr><td>Fe K</td><td>19.36</td></tr> </tbody> </table>	Element	Atomic%	O K	68.05	Si K	0.94	P K	2.45	Ca K	2.56	Fe K	19.36
Element	Atomic%																												
O K	51.73																												
Al K	1.62																												
Si K	1.19																												
P K	8.44																												
K K	0.33																												
Ca K	1.06																												
Fe K	35.63																												
Element	Atomic%																												
O K	68.05																												
Si K	0.94																												
P K	2.45																												
Ca K	2.56																												
Fe K	19.36																												
Figur 72: 39775. Grunnstoffanalyse før behandling	Figur 73: 39775. Grunnstoffanalyse etter behandling																												
																													
Figur 73: 39002. Mineralisert tre før behandling med NaOH	Figur 74: 39002. Mineralisert tre etter behandling med NaOH																												

																							
Figur 75: 39002. Mineralisert tre før behandling	Figur 76: 39002. Mineralisert tre etter behandling. Radial eller tangentialsnitt.																						
<table><tr><th>Element</th><th>Atomic%</th></tr><tr><td>O K</td><td>66.83</td></tr><tr><td>Al K</td><td>1.22</td></tr><tr><td>Si K</td><td>0.80</td></tr><tr><td>Fe K</td><td>31.16</td></tr></table>	Element	Atomic%	O K	66.83	Al K	1.22	Si K	0.80	Fe K	31.16	<table><tr><th>Element</th><th>Atomic%</th></tr><tr><td>O K</td><td>60.87</td></tr><tr><td>Na K</td><td>5.95</td></tr><tr><td>Al K</td><td>1.22</td></tr><tr><td>Si K</td><td>0.80</td></tr><tr><td>Fe K</td><td>29.92</td></tr></table>	Element	Atomic%	O K	60.87	Na K	5.95	Al K	1.22	Si K	0.80	Fe K	29.92
Element	Atomic%																						
O K	66.83																						
Al K	1.22																						
Si K	0.80																						
Fe K	31.16																						
Element	Atomic%																						
O K	60.87																						
Na K	5.95																						
Al K	1.22																						
Si K	0.80																						
Fe K	29.92																						
Figur 77: 39002. Grunnstoffanalyse før behandling	Figur 78: 39002. Grunnstoffanalyse etter behandling																						
																							
Figur 79: 0709-0016x1 (Fløtningsshake). Surring av mineralisert organisk materiale																							
																							
Figur 80: 0709-0016x1. Mineralisert organisk materiale, trolig skinn, før behandling med basisk sulfitt	Figur 81: 0709-0016x1. Mineralisert organisk materiale, trolig skinn, etter behandling med basisk sulfitt																						

																													
Figur 82: 0709-0016x1. Mineralisert organisk materiale, trolig skinn, før behandling. Detalj.	Figur 83: 0709-0016x1. Mineralisert organisk materiale, trolig skinn, etter behandling. Detalj.																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th><th>Atomic%</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>O K</td><td>62.91</td></tr> <tr> <td>Al K</td><td>0.31</td></tr> <tr> <td>Si K</td><td>0.88</td></tr> <tr> <td>Ca K</td><td>0.40</td></tr> <tr> <td>Fe K</td><td>35.50</td></tr> </tbody> </table>	Element	Atomic%	O K	62.91	Al K	0.31	Si K	0.88	Ca K	0.40	Fe K	35.50	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th><th>Atomic%</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>O K</td><td>57.15</td></tr> <tr> <td>Na K</td><td>5.76</td></tr> <tr> <td>Al K</td><td>0.31</td></tr> <tr> <td>Si K</td><td>0.88</td></tr> <tr> <td>S K</td><td>0.33</td></tr> <tr> <td>Ca K</td><td>0.40</td></tr> <tr> <td>Fe K</td><td>35.17</td></tr> </tbody> </table>	Element	Atomic%	O K	57.15	Na K	5.76	Al K	0.31	Si K	0.88	S K	0.33	Ca K	0.40	Fe K	35.17
Element	Atomic%																												
O K	62.91																												
Al K	0.31																												
Si K	0.88																												
Ca K	0.40																												
Fe K	35.50																												
Element	Atomic%																												
O K	57.15																												
Na K	5.76																												
Al K	0.31																												
Si K	0.88																												
S K	0.33																												
Ca K	0.40																												
Fe K	35.17																												
Figur 84: 0709-0016x1. Grunnstoffanalyse før behandling	Figur 85: 0709-0016x1. Grunnstoffanalyse etter behandling																												

Mineralisert organisk materiale ble registrert hos fem av åtte gjenstander. Materialene var karakteristisk forskjellig i tekstur og egenskaper og det vil derfor være relevant å beskrive og tolke hvert enkelt tilfelle separat, og trekke generelle konklusjoner avslutningsvis.

På gjenstand A94/136 ble det funnet mineraliserte rester etter et treskaft inne i den hule enden på øksehodet (figur 43). Dette materialet faller dermed inn under kategorien komposittgjenstander av metall og organisk materiale (Edwards, 1989, s. 3). Materialet var lett gjenkjennelig som tre både uten forstørrelse og under arbeidsmikroskop (Vedlegg IV, figur 140), men forut for behandling ble det ansett som usikkert i hvilken form det organiske materialet var bevart (bevaring av materialet under et belegg av metallsalter, bevaring ved metallsaltenes erstatning av struktur, eller bevaring gjennom impregnering av metallsalter). A94/136 var eneste gjenstand hvor det var mulig å undersøke det mineraliserte treverket i både tverrsnitt, radialplan og tangentialplan med SEM, hvorav det i alle tre plan kunne registreres artskaraktéristiske kjennetegn. Generelt sett demonstrerer SEM-undersøkelsen at fiberstrukturene er overraskende godt bevarte. Ingen strukturer fremstod som avstøpninger,

trolig er materialet derfor bevart enten under et lag metallsalter eller ved impregnering av metallsalter. Klart synlige vedrør i tverrsnitt indikerer at treet er løvtre. At det ikke er en utpreget størrelsesforskjell mellom vedrør i vårved og sommerved betyr at treet trolig er et såkalt spredtporet løvtre. Klyngene av to og tre vedrør sammen i tverrsnittet, margstråler med flere celler i bredden synlig i tangentialsnitt (figur 45-55) og stigeformede perforasjoner i vedrør sett i radialsnitt innebærer at treet høyst sannsynlig kan identifiseres som bjørk (Hather, 2000, s. 105) (figur 45-55).

På gjenstand NSM 03010078 x 758 ble det funnet mineraliserte rester etter tre på sverdhjaltet (figur 60). Dette materialet faller dermed inn under kategorien kompositt av metall og organisk materiale. Materialet kunne ikke identifiseres som tre uten forstørrelse, og selv under arbeidsmikroskop var det kun enkelte områder på hjaltet hvor trestruktur kunne registreres (Vedlegg IV, figur 141). Dette var hovedsakelig rett oppunder bladet. Forut for behandling var det usikkert i hvilken form det organiske materialet var bevart. SEM bildene viser ingen tegn til avstøpninger, bevaring under belegg eller ved impregnering er derfor sannsynlig. Uttak av prøver var utfordrende på bakgrunn av materialets svært pudderaktige tekstur. Kun ett snitt var mulig å undersøke på bakgrunn av materialets skjøre tilstand, snittet er trolig tangentialplan hvor margstråleceller med korrosjonsutfelling i lumina kan observeres (figur 65). Disse karakteristikene er allikevel ikke nok til at en artsidentifisering kan gjøres. Prøvens EDS analyse viste tilstedeværelsen av kobber og sink, noe som ikke ble registrert hos de andre gjenstandene og heller ikke var forventet i en prøve av jernkorrosjon. Prosentnivåene er betydelige nok til at metallene ikke kan avskrives som feilkilder, og de kan dermed tolkes som en indikasjon på en tidligere tilstedeværelse av messingdekor på hjaltet i form av innlegg eller plett. Dette resultatet bidrar også til oppklaring og bekreftelse av XRD-analysens registrering av kobberholdig korrosjonsprodukt med gjenstanden selv som kilde fremfor omkringliggende jordsmonn (se s. 46) Kombinert bidrar analysemetodene på denne måten til ny kunnskap rundt gjenstanden som ikke er tilgjengelig ved visuell analyse alene.

På gjenstand 39775 ble det funnet mineraliserte rester av organisk materiale på området identifisert som skaftet ved røntgenanalyse. Dette materialet faller dermed trolig inn under kategorien kompositt av metall og organisk materiale. Materialet kunne ikke identifiseres under arbeidsmikroskop, og selv SEM-analyse ga kun indikative resultater. Under arbeidsmikroskop hadde materialet en fibrøs struktur, samtidig fremstod denne som noe forskjellig fra trefibre. Materialet var skjørt og pudderaktig. Under elektronmikroskop hadde

materialet en lagdelt struktur av parallelle platelignende furer (figur 70, 71, 142). Denne strukturen kan indikere nedbrutt horn (O'Connor, 1987, s. 15). EDS-analysens registrering av fosfor, ofte et tegn på nærhet til nedbrutt horn eller beinmateriale, støtter denne teorien (figur 72). Samtidig er det et faktum at nedbrutt hornstruktur kan ligne trefiberstruktur under lav forstørrelse (Watson, 1988, s. 73). Det må dermed anses som noe usikkert hvorvidt det mineraliserte organiske materialet på gjenstanden er horn eller nedbrutt tre.

På gjenstand 39002 ble det funnet mineraliserte rester etter tre over gjenstandens langside. Materialet var lett gjenkjennelig som tre både uten forstørrelse og under arbeidsmikroskop. Ettersom gjenstanden er en spiker/nagle, er sammenhengen mellom det organiske materialet og jernet mer uklar. Treet kan være et naturlig materiale i den arkeologiske konteksten uten intensjonell tilknytning til spikeren, eller det kan komme fra en gjenstand eller større trestruktur hvor spikeren utgjorde et konstruktivt element. Eventuelle tolkninger rundt dette vil være avhengig av tilgang til relevante utgravningsrapporter. I teksten fremstod det mindre skjørt enn hos de resterende gjenstandene. Allikevel var det kun mulig å undersøke ett snitt, tangentialplanet eller radialplanet, noe som ikke bidro til identifisering av treslag. Forut for behandling var det usikkert i hvilken form det organiske materialet var bevart. Enkelte margstråleceller fremstår som avstøpninger, strukturene kan derfor antas å være delvis pseudomorfe (figur 76).

På gjenstand 0709-0016 x 1 ble det funnet mineraliserte rester av organisk materiale i form av enurring mellom treskaft og metallhake for å sikre disse til hverandre. Materialets funksjon indikerer i seg selv at dette trolig er rep basert på plantefibre eller animalske fibre, eventuelt remser av skinnmateriale. Undersøkelse under arbeidsmikroskop var allikevel ikke oppklarende da materialet var mineralisert i en slik grad at ingen karakteristiske kjennetegn kunne registreres. Under elektronmikroskop kunne derimot svært tynne fibre observeres i enkelte områder av prøven. Ved høy forstørrelse ble det klart at disse fibrene ikke kunne være plantefibre eller hårfibre ettersom fiberdiameter var mindre enn hos disse fibertypene. I tillegg bar noen fibre preg av å være tvinnnet eller klistret sammen på en måte utypisk for nevnte fibre. Ved sammenligning med referansebilder i *Leather under the microscope* (1981), ble det klart at materialet mest sannsynlig er mineraliserte skinnfibre (Haines, 1981, s. 12). Bevaring som avstøpninger kunne ikke observeres, derimot var flere fibere delvis dekket av voluminøse korrosjonsutfellinger (figur 82). Bevaring ved belegg av metallsalter er derfor trolig tilfelle.

Definering av bevaringsform på bakgrunn av SEM bilder er generelt sett å betrakte som usikker for det mineraliserte organiske materialet hos gjenstandene. Selv om bevaring ved avstøping kan utelukkes i de fleste tilfeller på bakgrunn av en ren visuell vurdering, kan det ikke avgjøres om bevaring ved impregnering eller *coating* forekommer på samme måte. At prøvene måtte sputtres med karbon for at undersøkelsene skulle være mulig kan ikke anses som en sikker indikasjon på at materialet hovedsakelig er organisk, ettersom ren jernkorrosjon også leder strøm dårlig. Prosentverdien av de ulike grunnstoffene gir heller ingen sikre svar. Dette har bl.a. sammenheng med at oksygenverdien ikke utelukkende kan knyttes til tilstedeværelsen av organisk materiale da de fleste jernkorrosjonsprodukter også har oksygen som bestanddel. Når EDS analysene viser at jernprosenten ligger på rundt 30 % hos alt prøvematerialet, kan det være fristende å konkludere at alt materialet er mineralisert i like stor grad og på samme måte. En slik slutning er allikevel risikabel ettersom analysen kun måler i overflaten av materialet og selv gjenværende organisk materiale vil være dekket av et tynt lag metallsalter som trolig dermed er det som hovedsakelig registreres. Et sannsynlig scenario er bevaring ved en kombinasjon av impregnering og *coating*, noe som hvis tilfelle vil gjøre ytterligere forsøk på tolkning på bakgrunn av prosentverdier noe urelevant. Testing av SEM-analyse med BEI-innstilling (tilbakespredte elektroner) fremstår imidlertid som en lovende metode i dette henseendet. Mørkere områder i bildet vil med denne innstillingen representere grunnstoffer med lavere atomvekt enn grunnstoffene i lysere områder (Vedlegg IV, figur 143). Dette indikerer at skinnfiber i figur 142 består av grunnstoffer med lavere atomvekt enn korrosjonspartiklene utfelt på fibret og korrosjonen i bakgrunnen. Lavere atomvekt kan tolkes i retning av at fibret ikke er fullstendig mineralisert.

På bakgrunn av SEM bildene fra prøver etter konserveringsbehandlinger kan det argumenteres for at verken avsalting i natriumhydroksid eller basisk sulfitt har negative konsekvenser for (delvis) mineralisert organisk materiale. De samme fiberkarakteristikker gjenkjennes også etter behandling og de bærer ikke preg av noen form for fremskyndet nedbrytning. Disse resultatene bidrar til å nyansere det ellers pessimistiske synet på behandlingenes effekt på denne type materiale fremmet i diverse konserveringslitteratur. Selv om SEM-undersøkelsen gir utelukkende positive konklusjoner i relasjon til upåvirkede mikrostrukturer, må det allikevel påpekes at enkelte ulemper på makronivå er merkbare. Hos gjenstand A94/136 har avsaltingsbehandlingen medført at mye av det mineraliserte treverket har løsnet fra opprinnelig lokalisering inne i øksehodet og drevet ut i behandlingsløsningen hvor det deretter har blitt fragmentert i stor grad som et resultat av skifting av løsning og

avsluttende skylling. I dette tilfellet er det altså ikke kjemisk nedbrytning av materialet som er problemet, men heller mekanisk/fysisk skade forårsaket av løsningen uavhengig av dennes pH. Noe av det samme problemet var tilfelle også for gjenstand NSM 03010078 x 758 hvor behandlingen medførte at deler av korrosjonslaget relatert til det mineraliserte organiske materialet løsnet fra metallet under. Disse delene ble riktignok ikke ytterligere fragmentert i løsningen. Det anses som usikkert om løsningens pH var utslagsgivende i dette tilfellet eller om korrosjonslaget opprinnelig hadde dårlig feste og enhver løsningsbasert behandling ville hatt samme konsekvens. Også for gjenstand 39775 påvirket behandlingen det mineraliserte organiske materialets integritet. Dette ved at løsningen forårsaket oppsprekking av korrosjonslaget nevnte materiale var en del av (figur 69). Denne formen for oppsprekking er som nevnt en effekt som også gjøres rede for i publisert litteratur rundt basiske behandlinger.

I oppgavens metodekapittel nevnes det at dersom testede behandlinger viser seg å endre interessante fenomener på en måte som forringer deres informasjonspotensiale, kan de på bakgrunn av masteroppgavens målsetning anses som mindre egnede. Spørsmålet er dermed om nevnte konsekvenser endrer det mineraliserte organiske materialet i en slik grad at deres informasjonspotensiale forringes. Dersom informasjonspotensialet anses å være identifikasjon av materialkategori og eventuelt art innenfor kategori, er SEM-undersøkelsene argument for at metodene fortsatt bør anses som egnede. Innebefatter informasjonspotensiale også materialets fullstendige ivarettelse integritet kan derimot behandlingenes egnethet diskuteres. Et spørsmål i denne sammenheng er også om behandlingene eventuelt kan tilpasses for å sikre denne integriteten. I denne forbindelse er resultatene av konsolideringsforsøk nevnt i behandlingsbeskrivelsen relevant. Det konsoliderte området av mineralisert tre på gjenstand A94/136 var fortsatt på original plass også etter behandling. SEM undersøkelse av prøveuttak fra dette området skiller seg ikke ut i visuell kvalitet fra prøveområder hvor konsolidering ikke ble utført (Figur 54, 58, 59). Alle detaljer fremstår like klare og det er ingen synlige tegn på tilstedeværelsen av et konsolideringsmiddel. Disse resultatene demonstrerer dermed at konsolidering kan være et relevant redskap for sikring av materialets integritet i forbindelse med avsaltingsbehandlinger, og nyanserer igjen konklusjoner i annen litteratur som påpeker at konsolidering vil umuliggjøre en detaljert SEM-undersøkelse (Edwards, 1989, s. 5). Samtidig fordrer resultatene ytterligere forskning på konsolidering av mineralisert organisk materiale, ettersom oppgavens konsolideringsforsøk var begrenset til ett eksempel og derfor hovedsakelig er å anse som en indikasjon fremfor en konklusjon. Videre forskning bør også relateres til langtidseffekten av behandlingene, spesielt i sammenheng med konsekvenser av

eventuelle kjemiske rester av disse som ikke skylles vekk fullstendig. Denne faktoren påpekes i litteraturen, men også oppgavens EDS-analyser setter fokus på relevansen av undersøkelser på dette området da de ved sammenligning av grunnstoffanalyser før og etter behandlinger hos tre av de fire gjenstandene viste tilstedeværelse av natrium og/eller svovel kun etter behandling. Dette anses dermed som en direkte behandlingskonsekvens med på tross av at grundig skylling av gjenstandene i destillert vann ble utført etter avsalting. Det anses som usikkert hvordan slike gjenværende kjemiske rester vil påvirke jernet på lang sikt.

Ikke-inngripende stabilisering ved oksygenfri oppbevaring

Testing av ESCAL/RP systemet i mikroklima ved 75 % RF i to måneder bekreftet systemets relevans og egnethet innen trygg oppbevaring av arkeologisk jern. Ingen visuell endring av pakkede jerngjenstander kunne bemerkes ved eksperimentets slutt og RF indikator viste heller ingen endring av RF i løpet av hele forsøket. Oksygenfjerningen registrert ved visuell observasjon av at ESCAL posen sugde seg sammen ca 20 % så også ut til å være konstant opprettholdt. Eneste observerbare svakhet i stabiliseringssammenheng var mangelen på fullstendig fjerning av all fuktighet. Forut for innpakking viste RF indikator en RF på 30 %. Etter innpakking og forsegling sank riktignok RF til i mellom 10 og 20 %, noe som demonstrerte RP pakkens effekt. Allikevel var ikke effekten fullstendig ettersom all tilstedeværende fuktighet i teorien skal kunne fjernes. Det må riktignok tas med i betraktning at denne svakheten kan ha bakgrunn i en unøyaktig oppbevaring av RP pakkene forut for anvendelsen i eksperimentet. De enkelte RP pakkene kommer samlet i forseglet pose fra leverandør, dersom alle pakkene ikke skal anvendes samtidig er det dermed viktig at denne posen varmeforsegles grundig etter ønskede antall RP pakker er tatt ut for at de gjenværende pakkens kapasitet ikke skal forringes. Pakkene i eksperimentet kom fra en tidligere åpnet pose som hadde blitt gjenforseglet flere ganger. En tidligere noe ufullstendig varmeforsegling av posen er dermed en sannsynlig grunn til den noe begrensede fuktighetsfjerningen. Det kan dermed argumenteres for at svakheten ikke bør direkte tilskrives systemet i seg selv, og at optimal effekt trolig ville blitt registrert dersom RP pakkene kom fra en nyåpnet pose. Komparative resultater fra den andre testede bevaringsstrategien ved oppbevaring i lukket polyetylenboks under lav RF kontrollert med silikagel demonstrerte fordelene ved ESCAL/RP systemet. Selv om RF indikator ga bevis for at RF hurtig sank til under 10 % ved tilstedeværelsen av silikagel, ble dette nivået kun opprettholdt i to uker hvorpå det steg til ca

20 %. Fra dette nivået steg deretter RF sakte frem til det lå på ca 30 % ved eksperimentets slutt. Silikagel hadde da fullstendig skiftet farge fra blå til rosa som en indikasjon på at den ikke lenger har effekt (figur 86).

Av ytterligere fordeler ved ESCAL/RP sammenlignet med pakking med silikagel kan det nevnes bedre visuell tilgang på materialet og plassbesparing ved flatpakking fremfor pakking i bokser. I relasjon til brukervennlighet er å oppnå en feilfri varmekforsegling uten luftkanaler en avgjørende faktor. Ved bruk av et sveisejern er dette relativt uproblematisk med mindre gjenstanden er svært stor. Forsøk med alternativ varmekforsegling ved bruk av ordinært strykejern fungerte også tilfredsstillende men er mer tidskrevende. Det anslås at muligheten for å pakke flere små gjenstander i samme ESCAL film vil være en svært tidsbesparende tilpasning av metoden.

Sammenfattende ga eksperimentet klare indikasjoner på at ESCAL/RP systemet kan anbefales for midlertidig oppbevaring av arkeologisk jern på museer uten egne tørrom, og som et egnet alternativ ved direkte pakking i felt etter utgravning. Relevansen av dette alternativet demonstreres ikke minst gjennom resultatene fra spørreundersøkelsen hvor ca 30 % av de spurte nevnte at jernet oppbevares så tørt som mulig mellom utgravning og konservering, noe som i realiteten kan indikere at denne oppbevaringen ikke er kontrollert i stor nok grad. Hvorvidt systemet også bør vurderes ikke bare som et midlertidig stabiliseringssystem, men også som et endelig alternativ til inngripende konserveringsbehandlinger for å sikre ivaretagelsen av gjenstandenes informasjonspotensiale, vil tas stilling til i konklusjonen etter sammenfattende vurdering av testede behandlinger.



Figur 86: Sammenligning av RF hos gjenstand pakket med ESCAL/RP og silikagel.

6. Konklusjon

På bakgrunn av tolkning og drøfting av analyseresultater i forrige kapittel vil avsluttende sammenfatninger og konklusjoner presenteres ved en direkte besvarelse av problemstillingene gjort rede for i oppgavens innledning.

5. Hvilken type informasjon kan uthentes fra korrosjonsprodukter og hvilke analysemetoder er egnede for oppdaging og dokumentering av informative fenomener?

Undersøkelsene av testmaterialet indikerer at informasjon både gjeldende arkeologisk kontekst, gjenstandens originale overflate, tilvirkning, tilknyttet organisk materiale og dekor kan uthentes fra korrosjonsprodukter. På tross av et relativt snevert utvalg av testmateriale bidro undersøkelsene til en utvidet kunnskap og forståelse rundt flere av gjenstandene. Innen kategorien gjenstandens arkeologiske kontekst kan det konkluderes at XRD analyse er en relevant men ikke uproblematisk metode for identifisering av korrosjonsprodukter. Dette som et resultat av produktenes ufullstendige krystallisering. Informasjon rundt og lokalisering av gjenstandens originale overflate kan uthentes ved røntgenanalyse, men dette hovedsakelig for gjenstander med mindre grad av gjenværende metallkjerne. Tverrsnitt for undersøkelse av korrosjonsstratigrafier bekrefter allikevel tilstedeværelse av en antatt grense for original overflate også hos gjenstander med mye gjenværende metall. Tverrsnittundersøkelse er også relevant for forståelse av gjenstandens tilvirkning gjennom metallografisk analyse av inklusjoner i korrosjonslag. Metoden legger grunnlag for omfattende tolkninger, men resultater vil i større grad være avhengig av materialet selv enn metoden. Innen kategorien gjenstandens dekor kunne røntgenanalysens potensiale ikke vurderes ettersom testmaterialet var uten gjenværende metallinnlegg. Relativt overraskende var det at kombinasjonen av XRD analyse og SEM analyse derimot viste potensiale innen registrering av spor etter tidligere metallinnlegg nå nedbrutt. For undersøkelse av rester etter organisk eller mineralisert organisk materiale fremstod røntgenanalyse som en mindre relevant analysemetode. For denne typen materiale var innledende visuell analyse under arbeidsmikroskop egnet for oppdaging, og SEM-analyse svært godt egnet for videre identifikasjon og karakterisering. På bakgrunn av denne gjennomgangen kan dermed følgende forslag til generell undersøkelses og dokumentasjonsprosedyre forut for eventuelle konserveringsbehandlinger presenteres:

Røntgenanalyse bør utføres på jerngjenstandene for oppdaging av eventuell overflatedekor og grensen for original overflate. Best utgangspunkt for lokalisering av sistnevnte oppnås ved en noe høyere kV enn hva som er nødvendig for visualisering av f.eks. metallkjerne. Bildene vil fungere som en dokumentasjon av gjenstandens opprinnelige form dersom det velges å ikke utføre mekanisk rensing, og som en veiledende mal dersom gjenstandens visuelle verdi etter gjennomført undersøkelsesprosedyre fremstår som viktigst, og avdekking av form dermed er ønskelig. Videre anbefales visuell undersøkelse av korrosjonsoverflaten med og uten arbeidsmikroskop for oppdaging av mineralisert organisk materiale. Kjennetegn for tilstedeværelse av dette kan være områder som skiller seg fra øvrig korrosjon ved å være spesielt homogene i struktur eller farge. Strukturen kan være glattere og mer pudderaktig enn generell knudrete korrosjon, eller ha en utpreget fibrøs karakter. Dersom materialet anses å kunne bidra til ytterligere relevant informasjon rundt gjenstanden, anbefales prøveuttak til SEM-undersøkelse dersom dette er mulig. I de tilfeller hvor prøvematerialet tas ut fra et område på gjenstanden hvor det kan antas å ha vært en form for dekor tidligere, anbefales det å samtidig utføre en EDS-analyse av prøven for registrering av eventuelle spor etter andre metaller. Antas det på bakgrunn av gjenstandens opprinnelige funksjon at metallografisk informasjon vil kunne gi spesielt relevant kunnskap rundt tilvirkningsprosessen, bør det gjøres prøveuttak av korrosjonslag for metallografisk undersøkelse. Det viktige korrosjonslaget i denne sammenhengen er grått og kompakt da det hovedsakelig er her kilden til informasjon vil være lokalisert. Selv om denne formen for metallografisk undersøkelse hovedsakelig er relevant for gjenstander med lite eller ingen gjenværende metallkjerne, kan det også være et egnet alternativ hos gjenstander hvor uttak av metallkjerne fremstår som spesielt integritetsmessig uheldig. Avslutningsvis anbefales det at XRD analyse av korrosjonsprodukter forbeholdes for situasjoner hvor det forventes at resultatene vil kunne gi utfyllende kunnskap innen en arkeologisk kontekst med ellers sparsomme kontekstuelle kilder.

6. Hva er dagens behandlingsstrategier for arkeologisk jern og hva er bakgrunnen for valg av behandlingsmetoder?

Svarene fra spørreundersøkelsen blant skandinaviske museer demonstrerte at de vanligste behandlingsstrategiene for arkeologisk jern er mekanisk rensing i kombinasjon med avsalting hovedsakelig i natriumhydroksid eller i mindre grad basisk sulfitt. Disse strategiene speiles også i aktuell konserveringslitteratur på området. Bakgrunn for valg av metoder var hovedsakelig deres relevans innen forbedring av stabilitet og ivaretagelse av gjenstandenes

informasjonspotensiale, selv om også tilgjengelige ressurser ble oppgitt som styrende. Svarene demonstrerer relevansen av masteroppgavens tematikk da de indikerer at informasjonsverdien er en vektlagt verdi innen konserveringsfaget i dag. Med denne informasjonen i bakhånd var det interessant å teste nettopp i hvilken grad de anvendte avsaltingsmetodene faktisk ivaretar informasjonspotensiale.

7. Hvordan vil utvalgte inngripende konserveringsmetoder som har som mål å stabilisere jerngjenstander påvirke informasjon i korrosjonsprodukter?

Verken behandling med natriumhydroksid, natriumhydroksid i oksygenfritt miljø ved bruk av ESCAL/RP systemet eller basisk sulfitt endret registrerte korrosjonsprodukter. Delvis etablerte teori rundt oksygenfri basisk løsning som reduserende på jernoksider kunne dermed avkreftes. Ingen av behandlingene hadde negative konsekvenser for grensen til original overflate. En viss sprekkdannelse kunne registreres i øverste korrosjonslag, men stratigrafisk undersøkelse og røntgenanalyse indikerte ingen slik effekt i relasjon til grått kompakt korrosjonsprodukt som markør for grensen til original overflate. Heller ikke metallografisk informasjon i dette produktet ble påvirket. Metallinnlegg simulert ved metallkupper av sølv, kobber og tinn ble derimot påvirket i varierende grad av de ulike behandlingene. Konsekvensene var radikal fargeendring ved korrosjon hos alle metaller i natriumhydroksid, relativt stor grad av fargeendring spesielt hos tinn og kobber i basisk sulfitt, mens natriumhydroksid i oksygenfritt miljø ved bruk av ESCAL/RP systemet ga best resultater ved kun liten grad av fargeendring hos alle metaller. Det kan dermed antas at oksygen var den utslagsgivende faktoren ettersom natriumhydroksid i kombinasjon med ESCAL/RP systemet medførte minst tilgang på oksygen, mens kun natriumhydroksid medførte størst oksygentilgang. Innenfor kategorien mineralisert og delvis mineralisert organisk materiale forårsaket ingen av de utførte behandlingene endringer av materialets mikrostruktur. SEM-undersøkelse av prøvemateriale tatt ut før og etter behandling demonstrerte ingen forskjeller som kunne attribueres til behandlingenes påvirkning. På makronivå kunne derimot en viss oppsprekking og avflaking av relevante korrosjonslag ses som en konsekvens av behandling både med natriumhydroksid og basisk sulfitt. Det er imidlertid en viss usikkerhet rundt hvorvidt avflaking bør anses som et direkte resultat av løsningens kjemi eller kun våtbehandlingens fysiske påvirkning på korrosjonslag med i utgangspunktet dårlig feste til underliggende metall. Forsøk med lokal konsolidering (10 % Paraloid B44) av mineralisert tre ble utført i denne sammenheng, og kan vurderes som et relevant tiltak for bevaring av materialets integritet da konsoliderte område ikke løsnet fra gjenstanden samtidig som detaljer

i mikrostruktur fremstod like klare. Det anbefales at mer forskning utføres på konsolidering av mineralisert organisk materiale da dette virker lovende samtidig som nevnte eksperiment først og fremst bør anses som et pilotforsøk. Avslutningsvis kan utførte behandlings konsekvenser for informasjonspotensiale i korrosjon sammenfattes:

Metoder	Arkeologisk kontekst tolket fra korrosjonsprodukters kjemiske sammensetning	Original overflate	Tilvirkning	Metalldekor	Mineralisert/delvis mineralisert organisk materiale
NaOH	Ingen uønskede konsekvenser	Ingen uønskede konsekvenser	Ingen uønskede konsekvenser	Uønskede konsekvenser ved fargeendring	Ingen konsekvenser for mikrostruktur, delvis uønskede konsekvenser for makrostrukturens integritet
Basisk sulfitt	Ingen uønskede konsekvenser	Ingen uønskede konsekvenser	Ingen uønskede konsekvenser	Delvis uønskede konsekvenser ved fargeendring	Ingen konsekvenser for mikrostruktur, delvis uønskede konsekvenser for makrostrukturens integritet
NaOH uten oksygen tilstede ved ESCAL/RP	Ingen uønskede konsekvenser	Ingen uønskede konsekvenser	Ingen uønskede konsekvenser	Minimale konsekvenser innen fargeendring	Ikke testet

8. På hvilken måte kan informasjon i korrosjonsprodukter best bevares, og vil en slik bevaring eventuelt gå på bekostning av gjenstandens stabilitet?

Som indikert ved test av oksygenfri oppbevaring ved ESCAL/RP systemet, er det mulig å holde arkeologisk jern stabilt over lengre tid uten direkte inngripen i materialet. Systemet er dessuten relativt kostnads og tidseffektiv, i tillegg til den største fordelen i relasjon til masteroppgavens tematikk, det har ingen konsekvenser for informasjonspotensialet i korrosjonsprodukter og kan på bakgrunn av dette anses som den beste bevaringsstrategien. Allikevel er det høyst diskutabelt hvorvidt denne løsningen er å foretrekke i en større konserveringssammenheng. Dette har bakgrunn i problemene som vil oppstå dersom materialet ønskes til utstilling, lån eller større forskningsprosjekter. På tross av relativt god visuell tilgang når pakket, vil materialet med jevne mellomrom trolig ønskes tilgjengelig i større grad. Konsekvensene blir da en usikker håndtering av ofte svært ustabilt materiale. Riktignok påpekes det til stadighet i faglitteraturen innen jernkonservering at ingen ideell avsaltingsmetode foreløpig er utviklet, verken i relasjon til stabiliseringseffekt eller etisk forsvarlighet rundt informative aspekter. Samtidig er det som gjort rede for i teorikapittelet i

nyere tid utført flere komparative avsaltingsforsøk som bl.a. demonstrerer at basisk sulfitt fjerner kloridioner effektivt og viser lovende resultater innen langtidsstabilisering. Når gjennomførte eksperimenter i masteroppgaven også indikerer at behandlingen har mindre uheldige konsekvenser for informasjonspotensialet enn hva det gis inntrykk av i konserveringslitteraturen, kan det argumenteres for at basisk sulfitt fremstår som et relevant alternativ. Ytterligere relevant vil det være å gå inn for utviklingen av en mer bruksvennlig tilpasning av avsalting med natriumhydroksid i kombinasjon med ESCAL/RP systemet, da dette i større grad garanterer utelukkning av oksygen uten fare for etterlating av svovelforbindelser i gjenstanden. Dersom eventuell fremtidig testing av konsolidering av mineralisert organisk materiale forut for avsalting reflekterer konsolideringsresultatene fra pilotforsøket i oppgaven, vil dermed avsalting i desoksidert natriumhydroksidløsning kunne anbefales også på et etisk grunnlag. Dette med den forutsetning at deler av eller hele foreslåtte undersøkelser og dokumentasjonsprosedyrer utføres innledningsvis. Velges det å videre rense mekanisk ned til grensen for original overflate må dette gjøres med bevissthet rundt hvilken informasjon som da risikeres å fjernes. Sammenfattende er dette hovedsakelig informasjon rundt gjenstandens kontekst og rester etter tilknyttet organisk materiale. Informasjon rundt tilvirkning vil derimot ivaretas ettersom det i oppgaven er gitt klare indikasjoner på at metallografiske strukturer kun befinner seg under grensen til original overflate. Ved større visshet rundt de ulike informative fenomenenes karakter, vil konservatoren ha et bedre utgangspunkt for å vurdere hvilke verdier ved gjenstanden som skal vektlegges og dermed også hvilken behandling som er passende.

Referanser

- Bertholon, R. 2001a, "To Get Rid of the Crust or Not: Emergence of the Idea of "Original Surface" in the Conservation of Metal Archaeological Objects in the first half of the 20th Century", i A. Oddy og S. Smith (red.), *Past Practice – Future Prospects, The British Museum Occasional Paper No. 145*. The British Museum Press, London.
- Bertholon, R. 2001b, "The location of the original surface, a review of the conservation literature", i *Metal 2001. Proceedings of the ICOM Committee for Conservation Metals Working Group*.
- Blackshaw, S. 1982, "An appraisal of cleaning methods for use on corroded iron antiquities", i Blackshaw, S.M. og Clarke, R.W. (red.), *Conservation of Iron. Maritime Monographs and Reports*, National Maritime Museum, London.
- Bryce, T. 1979, "Alkaline sulphite treatment of iron at the national museum of antiquities of Scotland", i Slater E. A. & Tennant, N. H. (red.), *The conservation and restoration of metals, Proceedings of the Symposium held in Edinburgh 30 - 31 March 1979*, Scottish Society for Conservation and Restoration, Edinburgh.
- Cameron, E. 1991, "Identification of Skin and Leather Preserved by Iron Corrosion Products" i *Journal of Archaeological Science*, 18, Academic Press Limited.
- Caple, C. 2000, *Conservation Skills. Judgement, Method and Decision Making*, Routledge, London.
- Corfield, M. 1982, "Radiography of archaeological ironwork", i S.M. Blackshaw og R.W. Clarke, (red.), *Conservation of Iron. Maritime Monographs and Reports*, National Maritime Museum, London.
- Corfield, M. 1985, "Tinning of Iron", i Miles, G. og Pollard, S. (red.), *Lead and Tin Studies in Conservation and Technology*, The United Kingdom Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, Occasional Papers Number 3.
- Costain, C.G. 2000, "Evaluation of Storage Solutions for Archaeological Iron", i *Journal of the Canadian Association for Conservation*, Canadian Conservation Institute.
- Cronyn, J.M., Pye, E. og Watson, J. 1985, "The recognition and identification of traces of Organic materials in association with metal artifacts", i Phillips, P. (red.), *The Archaeologist and the Laboratory*, CBA Research Report No. 58, London.
- Cronyn, J.M. 1990, *The Elements of Archaeological Conservation*, Routledge, London.
- Edwards, G. 1989, "Guidelines for dealing with material from sites where organic remains

- Have been preserved by metal corrosion products”, i Janaway, R. og Scott, B., (red.), *Evidence Preserved in Corrosion Products: New Fields in Artifact Studies*, United Kingdom Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, Occasional Papers Number 8.
- Fell, V. 2004, “Cremated: Analysis of the metalwork from an Iron Age Grave”, i *Proceedings of Metal 2004*. National Museum of Australia Canberra.
- Gilberg, M.R. og Seeley, N.J. 1981, “The Identity of Compounds Containing chloride Ions in Marine Iron Corrosion Products: A Critical Review”, i *Studies in Conservation* 26:50-56.
- Gilberg, M.R. og Seeley, N.J. 1982, “The alkaline sodium sulphite reduction process for Archaeological iron: a closer look”, i *Studies in Conservation* 27.
- Haines, B.M. 1981, *Leather under the microscope*, British Leather Manufacturers’ Research Association, Northampton.
- Hather, J.G. 2000, *The Identification of the Northern European Woods. A guide for Archaeologist and conservators*, Archetype Publications.
- Keene, S. og Orton, C. 1985, ”Stability of treated archaeological iron: an assessment”, i *Studies in Conservation* 30.
- Keepax, C. 1989, “Corrosion preserved wood: Advances since 1975”. i Janaway, R. og Scott, B. (red.), *Evidence Preserved in Corrosion Products: New Fields in Artifact Studies*, United Kingdom Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, Occasional Papers number 8.
- Knight, B. 1982, “Why do some iron objects break up in store?”, i Clarke, R.W. og Blackshaw, S.M. (red.), *Conservation of Iron. Maritime Monographs and Reports*, National Maritime Museum, London.
- Knight, B. 1990, “A review of the corrosion of iron from terrestrial sites and the problem of post-excavation corrosion”, i *The Conservator*, Number 14.
- Knight, B. 1997, “The Stabilisation of Archaeological Iron. Past, Present and Future”, i *Metal* 95, James & James.
- Lang, J. og Middleton, A. 2005, *Radiography of Cultural Material*. Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Neff, D., Reguer, S., Bellot-Gurlet, L., Dillmann, P. og Bertholon, R. 2004, ”Structural characterization of corrosion products on archaeological iron: an integrated analytical approach to establish corrosion forms”, i *Journal of Raman Spectroscopy*, John Wiley & Sons, Ltd.

- North, N.A. og Pearson, C. 1975, "Investigations into methods for conserving iron relics recovered from the sea", i *Conservation in Archaeology and the Applied Arts*, IIC, London.
- North, N.A. og Pearson, C. 1978, "Washing Methods for Chloride Removal from Marine Iron Artefacts", i *Studies in Conservation* 23.
- O'Connor, S. 1987, "The identification of osseous and keratinaceous materials at York", i Starling, K. og Watkinson, D. (red.), *Archaeological Bone, Antler and Ivory*, The United Kingdom Institute for Conservation of Historic and Artistic Works of Art, Occasional Paper number 5.
- Organ, R.M. 1977, "The current status of the treatment of corroded metal artifacts", i *Corrosion and Metal Artifacts - A Dialogue Between Conservators and Archaeologists and Corrosion Scientists*, U.S. Department of Commerce. National Bureau of Standards.
- Pye, E. 2001, *Caring for the past. Issues in conservation for archaeology and museums*, James & James, London.
- Réguer, S., Dillmann, P. og Mirambet, F. 2007, "Buried iron archaeological artefacts: Corrosion mechanisms related to the presence of Cl-containing phases", i *Corrosion Science* 49.
- Rinuy, A. og Schweizer, F. 1982, "Application of the alkaline sulphite treatment to Archaeological iron: a comparative study of different desalination methods", i *Conservation of Iron*, National Maritime Museum Monographs and Reports No. 53, London.
- Samuels, L.E. 1999, *Light Microscopy of Carbon Steels*, ASM International.
- Selwyn, L. og Logan, J. 1993, "Stability of Treated Iron: A Comparison of Treatment Methods"
- Selwyn, L. 2004a, *Metals and corrosion, a handbook for the conservation professional*, Canadian Conservation Institute publication.
- Selwyn, L. 2004b, "Overview of archaeological iron: the corrosion problem, key factors affecting treatment, and gaps in current knowledge", i *Proceedings of Metal 2004*, National Museum of Australia Canberra ACT.
- Selwyn, L.S., Sirois, P.J. og Argyropoulos, V. 1999, "The Corrosion of excavated archaeological iron with details on weeping and akaganéite", i *Studies in Conservation* 44.
- Selwyn, L.S., McKinnon, W.R. og Argyropoulos, V. 2001, "Models for chloride ion diffusion

- in archaeological iron”, i *Studies in Conservation* 46.
- Schmidt-Ott, K. og Boissonnas, V. 2002, ”Low-pressure hydrogen plasma: an assessment of its application on archaeological iron”, i *Studies in Conservation* 47.
- Schmutzler, B. og Ebinger-Rist, N. 2008, ”The conservation of iron objects in archaeological preservation – Application and further development of alkaline sulphite method for conservation of large quantities of iron finds”, i *Materials and Corrosion* 59, No. 3.
- Scott, B. 1989, ”The retrieval of technological information from corrosion products on early wrought iron artefacts”, i (red.), *Evidence Preserved in Corrosion Products: New Fields in Artefact Studies*, United Kingdom Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, Occasional Papers number 8.
- Scott, D.A. 1991, *Metallography and Microstructure of Ancient and Historic Metals*, The Getty Conservation Institute in association with Archetype Books.
- Scott, D.A. og Eggert, G. 2009, *Iron and steel in art. Corrosion, colorants and conservation*, Archetype Publications, London.
- Scott, D.A. og Seeley, N.J. 1987, ”The Washing of Fragile Iron Artefacts”, i *Studies in Conservation* 32.
- Sjøgren, A. og V.F. 1991, ”Hydrogen Plasma Reactions in a D.C. Mode for the Conservation of Iron Meteorites and Antiquities”, i *Studies in Conservation* 36.
- Stuart, B. 2007, *Analytical Techniques in Materials Conservation*, Wiley.
- Thickett, D. og Lee, L.R. 2004, *Selection of Materials for the Storage or Display of Museum Objects*, The British Museum Occasional Paper Number 11.
- Turgoose, S. 1982a, ”Post-excavation changes in iron antiquities”, i *Studies in Conservation* 27.
- Turgoose, S. 1982b, ”The nature of surviving iron objects”, i Clarke, R.W. og Blackshaw, S.M. (red.), *Conservation of Iron. Maritime Monographs and Reports*, National Maritime Museum, London.
- Turgoose, S. 1985a, ”The corrosion of archaeological iron during burial and treatment”, i *Studies in Conservation* 30.
- Turgoose, 1985b, ”The Corrosion of Lead and Tin: Before and After Excavation”, i Miles, G. og Pollard, S. (red.), *Lead and Tin Studies in Conservation and Technology*, The United Kingdom Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, Occasional Papers Number 3.
- Turgoose, S. 1989, ”Corrosion and structure: Modelling the preservation mechanisms”, i

- (red.), *Evidence Preserved in Corrosion Products: New Fields in Artefact Studies*, United Kingdom Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, Occasional Papers number 8.
- Tylecote, R.F. og Black, J.W.B. 1980, "The effect of hydrogen reduction on the properties of ferrous materials", i *Studies in Conservation* 25.
- Wang, Q. 2007, "An Investigation of Deterioration of Archaeological Iron", i *Studies in Conservation* 52.
- Wang, Q, Dove, S., Shearman, F. og Smirniou, M. 2008, "Evaluation of methods of chloride ion concentration determination and effectiveness of desalination treatments using sodium hydroxide and alkaline sulphite solutions". i *The Conservator volume 31*.
- Watkinson, D. 1985, "An assessment of lithium hydroxide and sodium hydroxide treatments For archaeological ironwork", i *Corrosion of Iron*, Monograph 53, National Maritime Museum, London.
- Watkinson, D. og Lewis, M. 2005, "Desiccated Storage of Chloride Contaminated Archaeological Iron Objects", i *Studies in Conservation* 50.
- Watkinson, D. og Al-Zahrani, A. 2008, "Towards quantified assessment of aqueous chloride extraction methods for archaeological iron: de-oxygenated treatment environments", i *The Conservator volume 31*.
- Watson, J. 1988, "The identification of organic materials preserved by metal corrosion Products", i Olsen, S. (red.), *Scanning Electron Microscopy in Archaeology*, BAR international series 452, Oxford.
- Worth, C., Keith, D. og Rodriguez, J. 2001, "Less Is More: Measure of Chloride Removal Rate from Wrought Iron Artifacts during Electrolysis", i *Studies in Conservation* Vol. 46, No. 1, International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works.

URL

conservation by design 2007 [http://conservation-by-design.co.uk/catalogues/oxygen free storage and display june 2007.pdf](http://conservation-by-design.co.uk/catalogues/oxygen_free_storage_and_display_june_2007.pdf). Oppsøkt 21.09.09.

English Heritage 2006 http://www.english-heritage.org.uk/upload/pdf/X_Radiography.pdf
Oppsøkt 01.06.09.









English Heritage 2008 <http://www.helm.org.uk/upload/pdf/Investigative-Conservation.pdf?1257764210>

Oppsøkt 22.11.09.

Personlig kommunikasjon

Berg, Hans Jørgen, avdelingsingeniør Naturhistorisk Museum Oslo. 01.10.09.

Vedlegg I: Testmaterialet før og etter behandling

	
<p>Figur 87: 39002 før behandling</p>	<p>Figur 88: 39002 etter behandling</p>
	
<p>Figur 89: 39161 før behandling</p>	<p>Figur 90: 39161 etter behandling</p>
	
<p>Figur 91: 40276 før behandling</p>	<p>Figur 92: 40276 etter behandling</p>
	
<p>Figur 93: A94/136 før behandling</p>	<p>Figur 94: A94/136 etter behandling</p>



Figur 95: 39775 før behandling



Figur 96: 39775 etter behandling



Figur 97: NSM 03010078 x 758 før behandling



Figur 98: NSM 03010078 x 758 blad etter behandling



Figur 99: NSM 03010078 x 758 hjalte etter behandling



Figur 100: 0709-0016x1

Vedlegg II: Prøveuttak

Blå tall = område for prøveuttak til metallografi og korrosjonsstratigrafi

Rosa tall = område for prøveuttak til SEM-EDS analyse av mineralisert organisk materiale

Grønne tall = område for prøveuttak til XRD-analyse



Figur 101: NSM 03010078 x 758. Prøveuttak hjalte



Figur 102: NSM 03010078 x 758. Prøveuttak hjalte



Figur 103: NSM 03010078 x 758. Prøveuttak



Figur 104: A94/136 prøveuttak



Figur 105: A94/136 prøveuttak



Figur 106: A94/136 prøveuttak



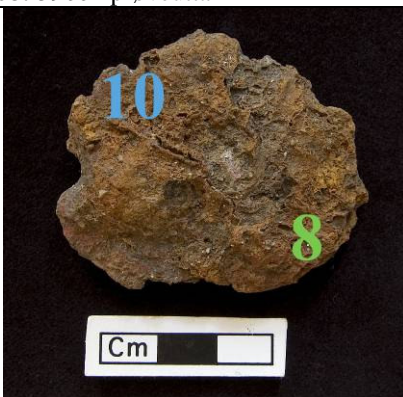
Figur 107: 0709-0016x1 prøveuttak



Figur 108: 39002 prøveuttak



Figur 109: 39002 prøveuttak



Figur 110: 40276 prøveuttak



Figur 111: 40288 prøveuttak



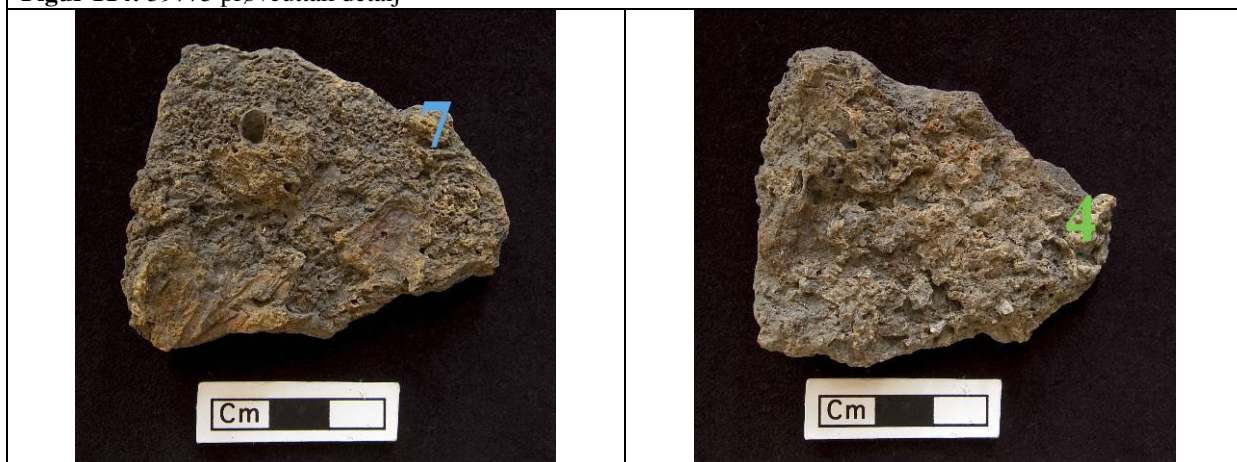
Figur 112: 39775 prøveuttak



Figur 113: 39775 prøveuttak



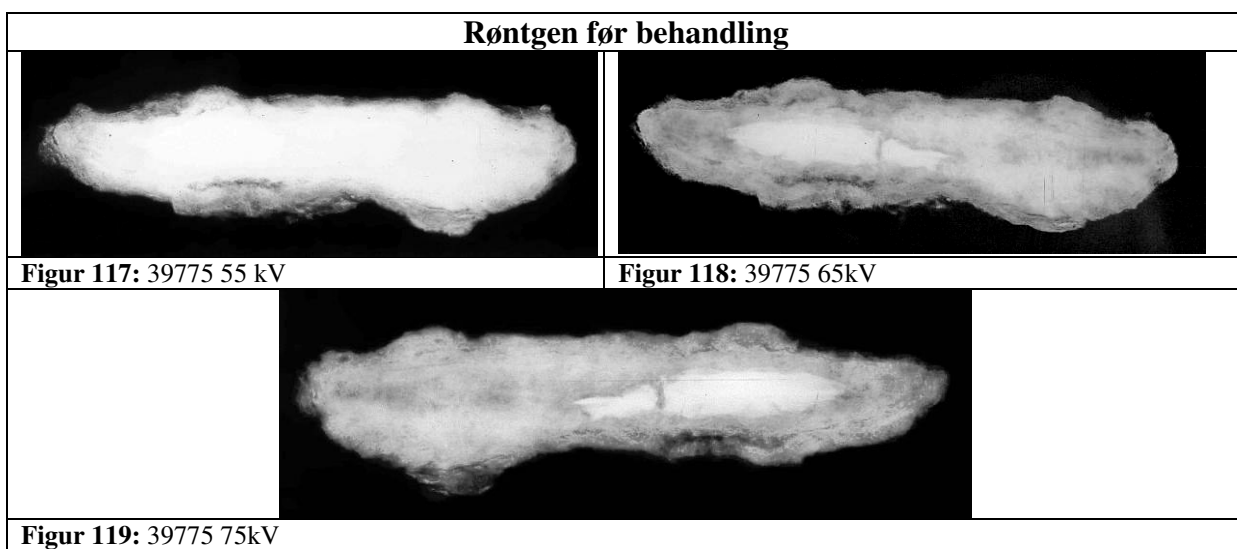
Figur 114: 39775 prøveuttak detalj

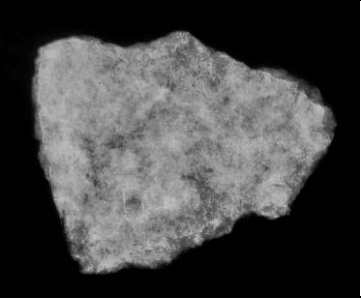
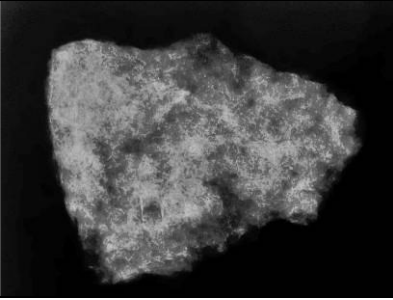

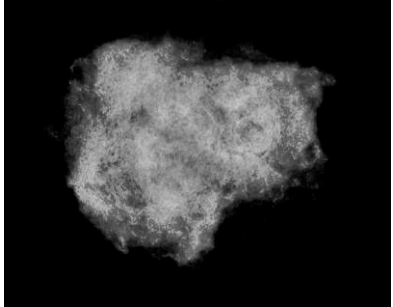
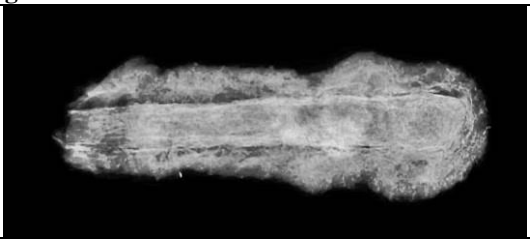
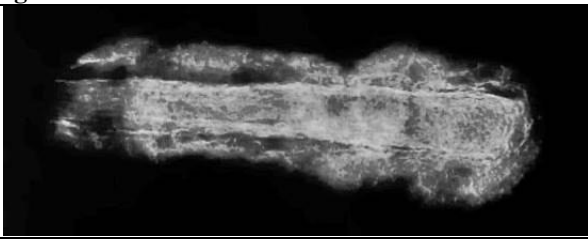
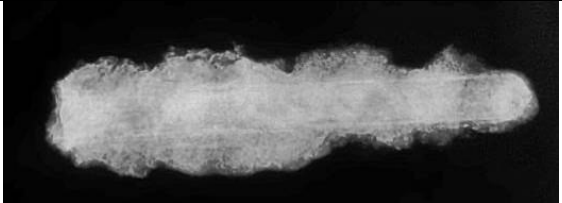
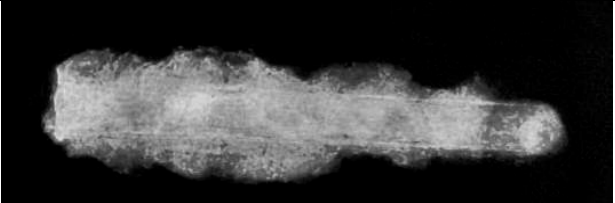
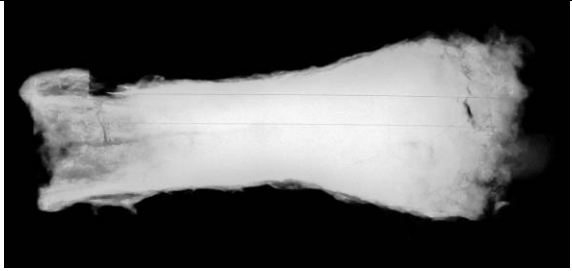

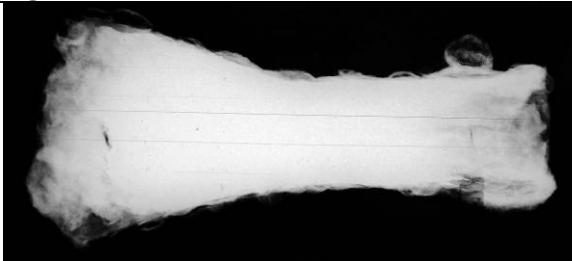
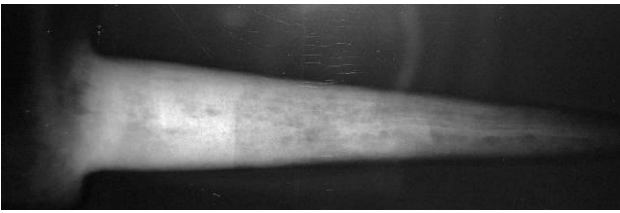


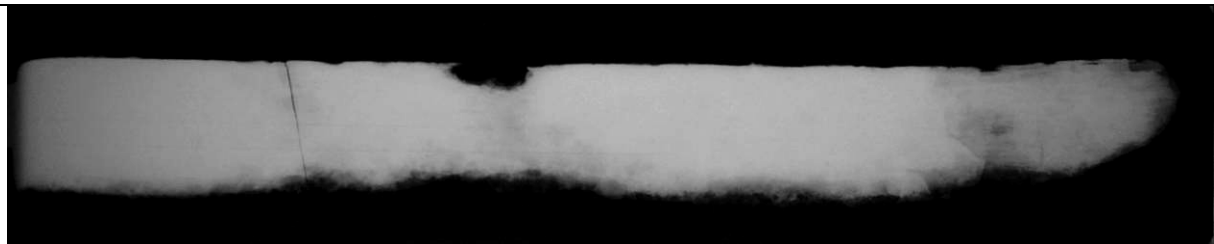
Figur 115: 39161 prøveuttak

Figur 116: 39161 Prøveuttak

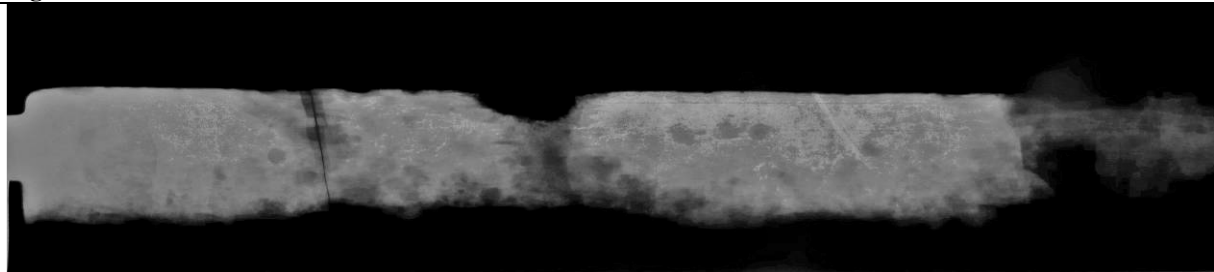
Vedlegg III: Røntgenanalyse



	
Figur 120: 39161 55kV	Figur 121: 39161 65kV
	
Figur 122: 40276 55kV	Figur 123: 40276 65kV
	
Figur 124: 39002 55kV	Figur 125: 39002 65kV
	
Figur 126: 40288 55kV	Figur 127: 40288 65kV
	
Figur 128: A94/136 100kV	Figur 129: A94/136 125 kV
	
Figur 130: A94/136 85kV	Figur 131: NSM 03010078 x 758 hjalte 65 kV

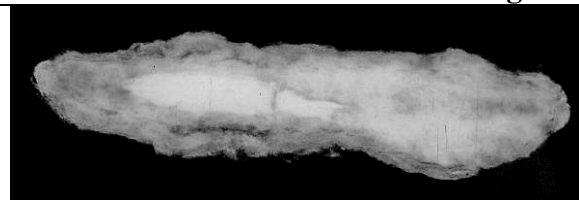


Figur 132: NSM 03010078 x 758 65kV

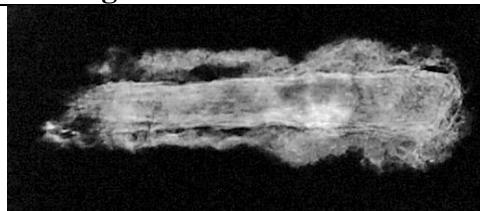


Figur 133: NSM 03010078 x 758 90kV

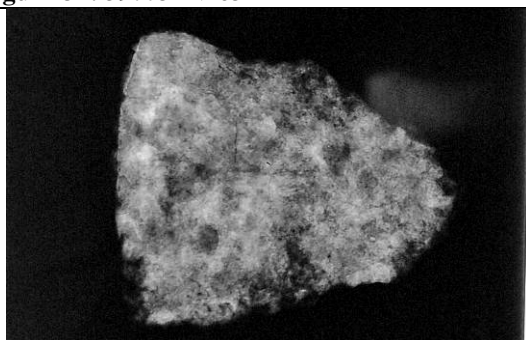
Røntgen etter behandling



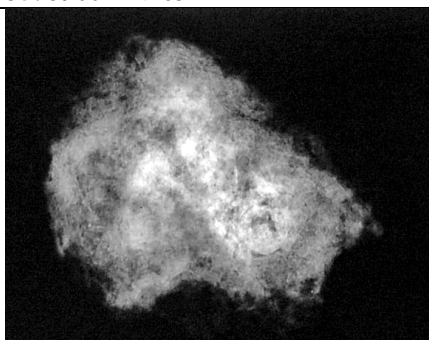
Figur 134: 39775 kV 65



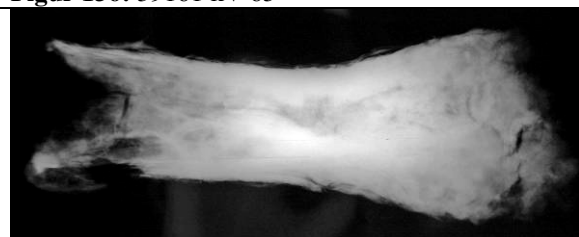
Figur 135: 39002 kV 65



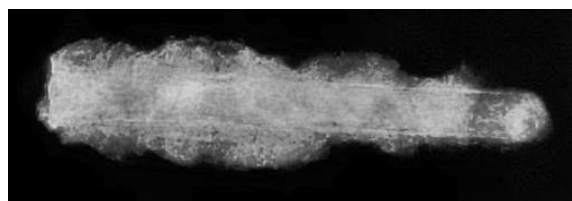
Figur 136: 39161 kV 65



Figur 137: 40276 65kV



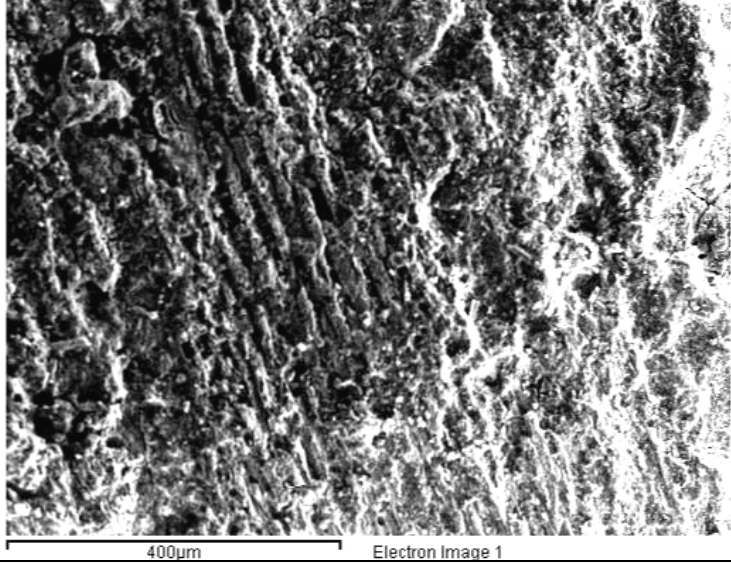
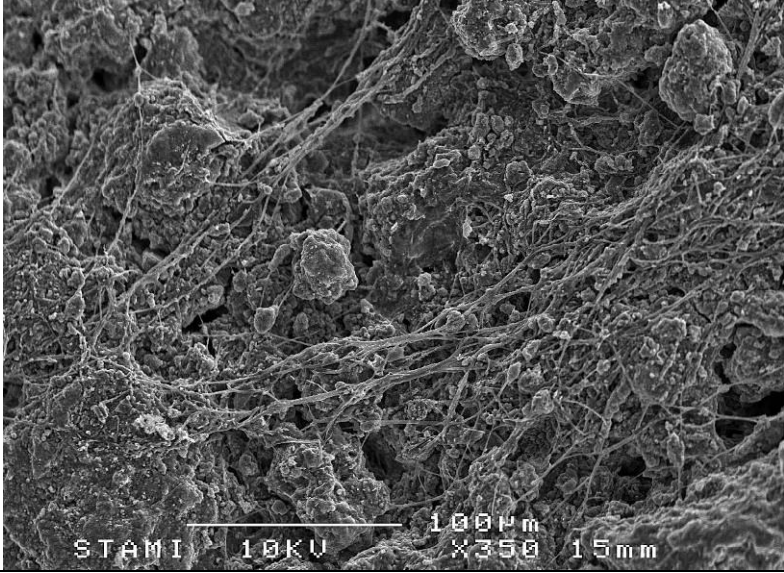


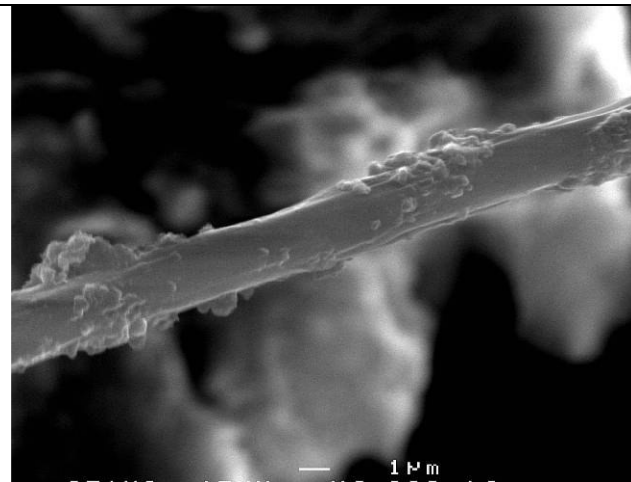
Figur 138: A94/136 125kV



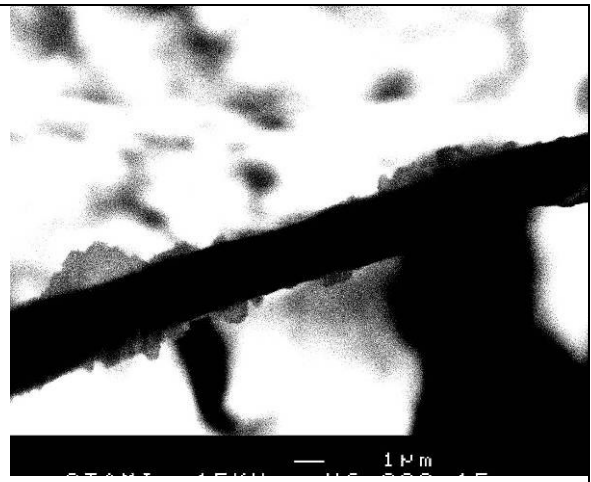
Figur 139: 40288 65kV

Vedlegg IV: Mineralisert organisk materiale

Stereo og elektronmikroskopi av mineralisert organisk materiale	
	
Figur 140: A94/136 mineralisert tre tverrsnitt. stereomikroskop	Figur 141: NSM 03010078 x 758 hjalte. Mineralisert tre. stereomikroskop
	
Figur 142: 39775 Mulig mineralisert horn. Elektronmikroskop	
	
Figur 143: 0709-0016x1. Mineralisert skinn. Elektronmikroskop	

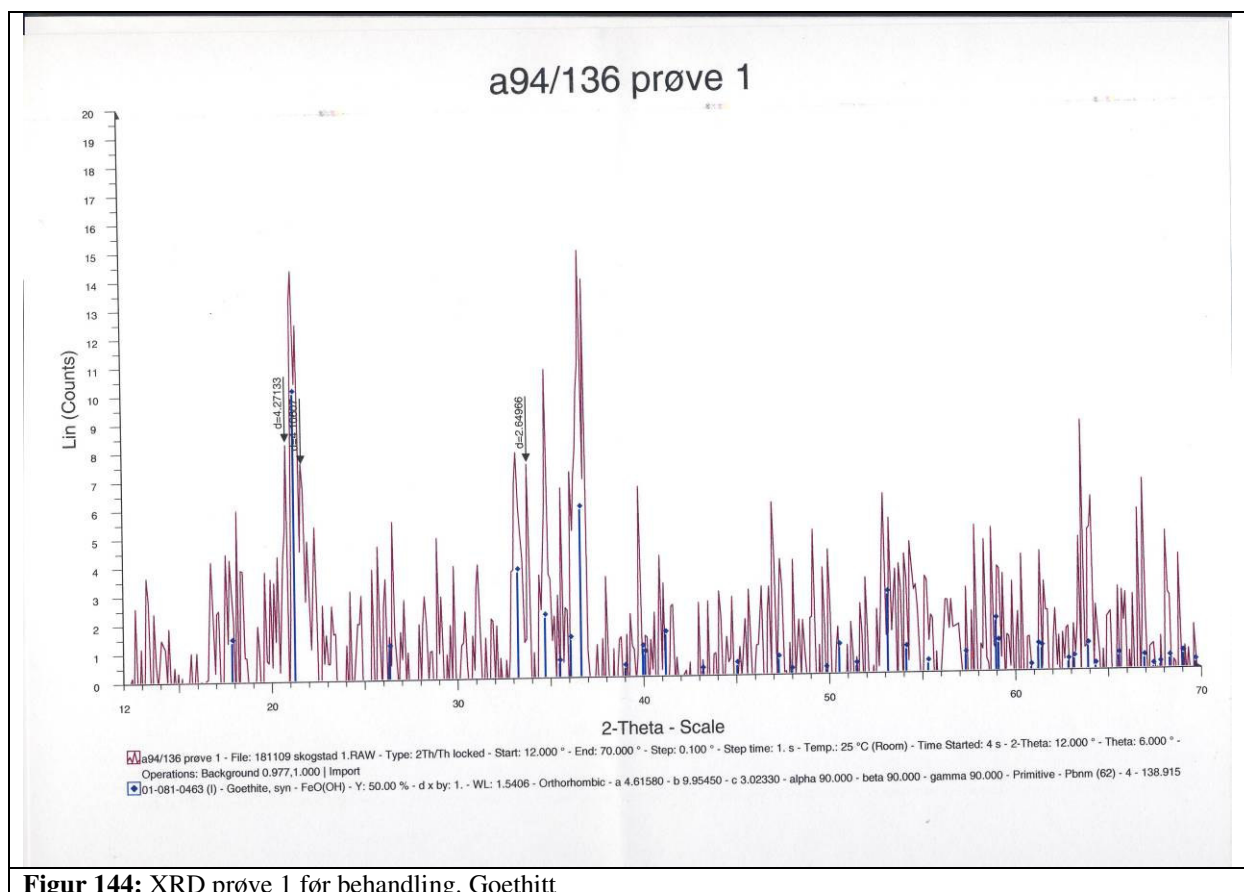


Figur 142: 0709-0016x1. Mineralisert skinn.
Elektronmikroskop

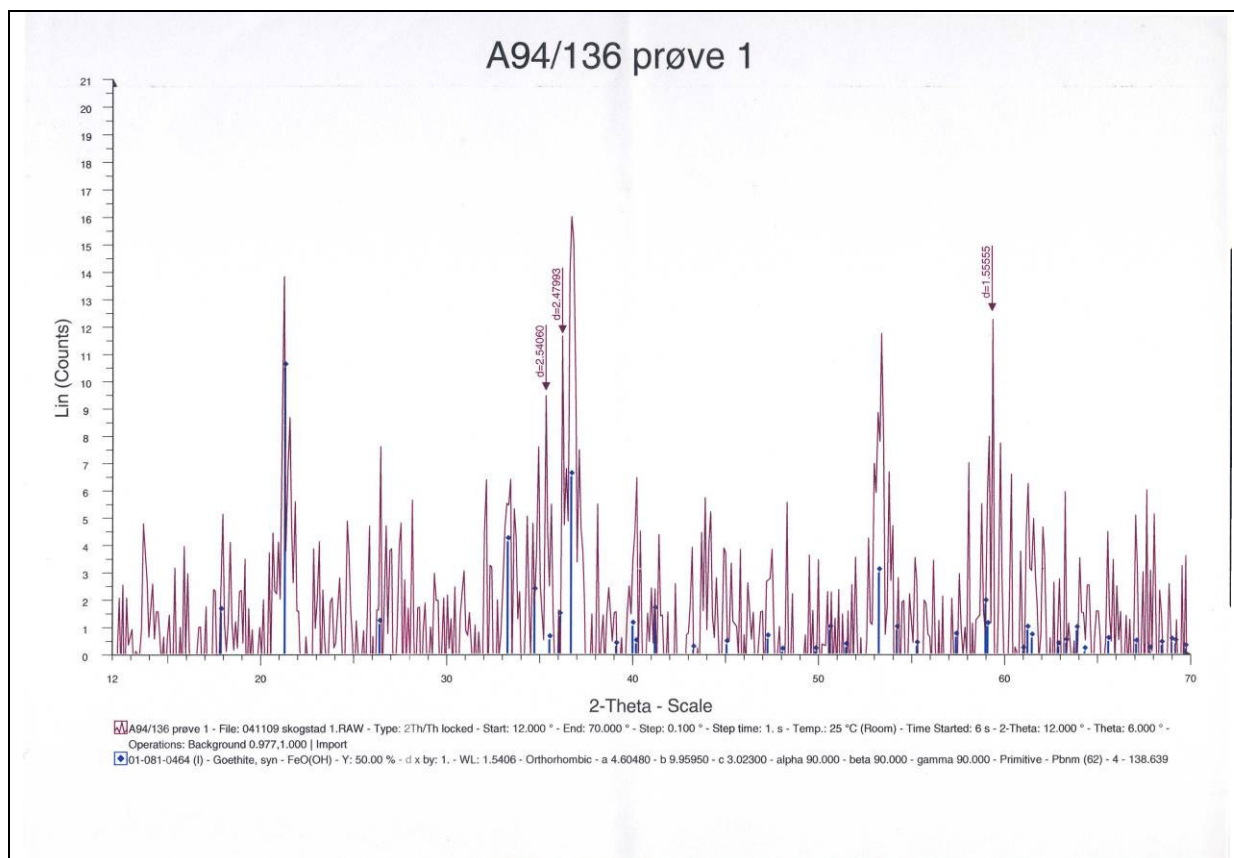


Figur 143: 0709-0016x1. Mineralisert skinn.
Elektronmikroskop. Tilbakespredte elektroner

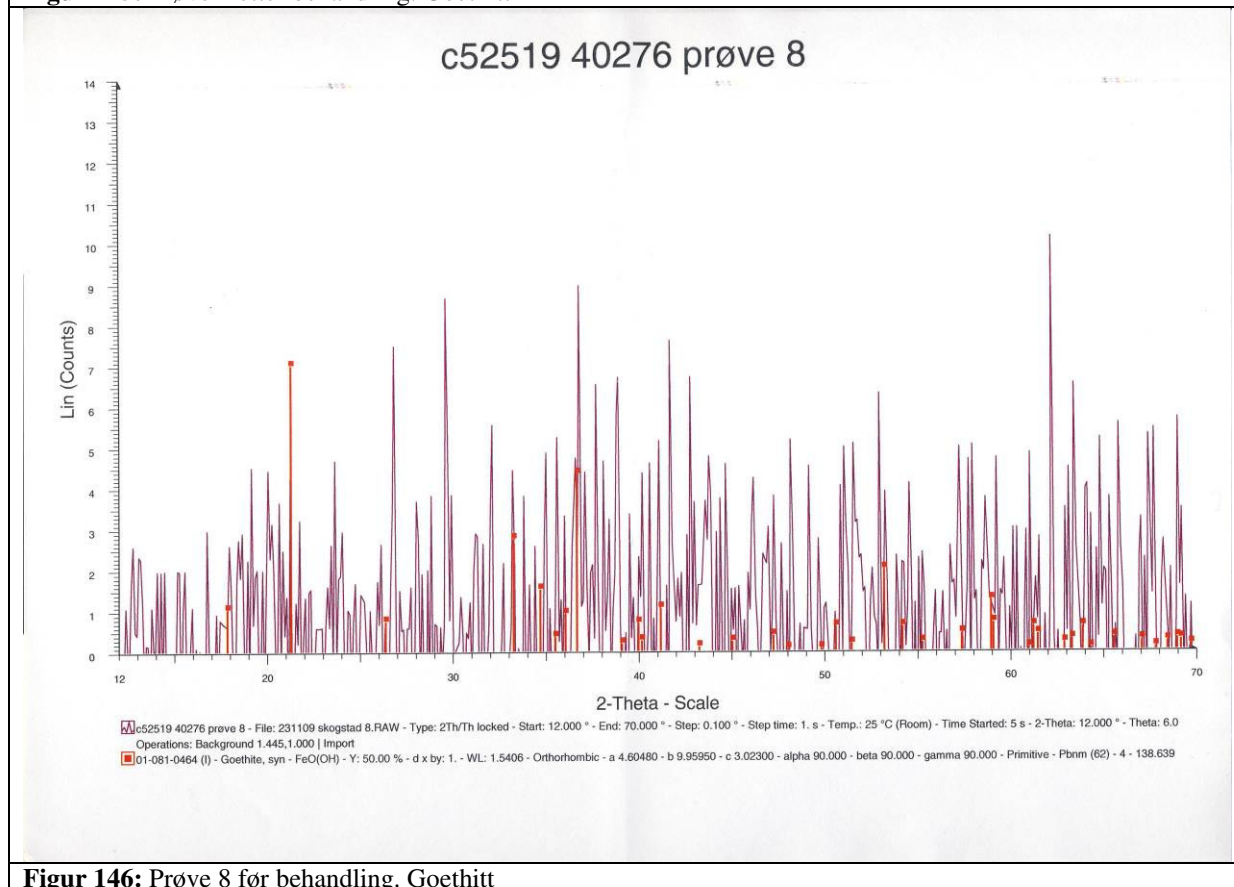
Vedlegg V: XRD spektra



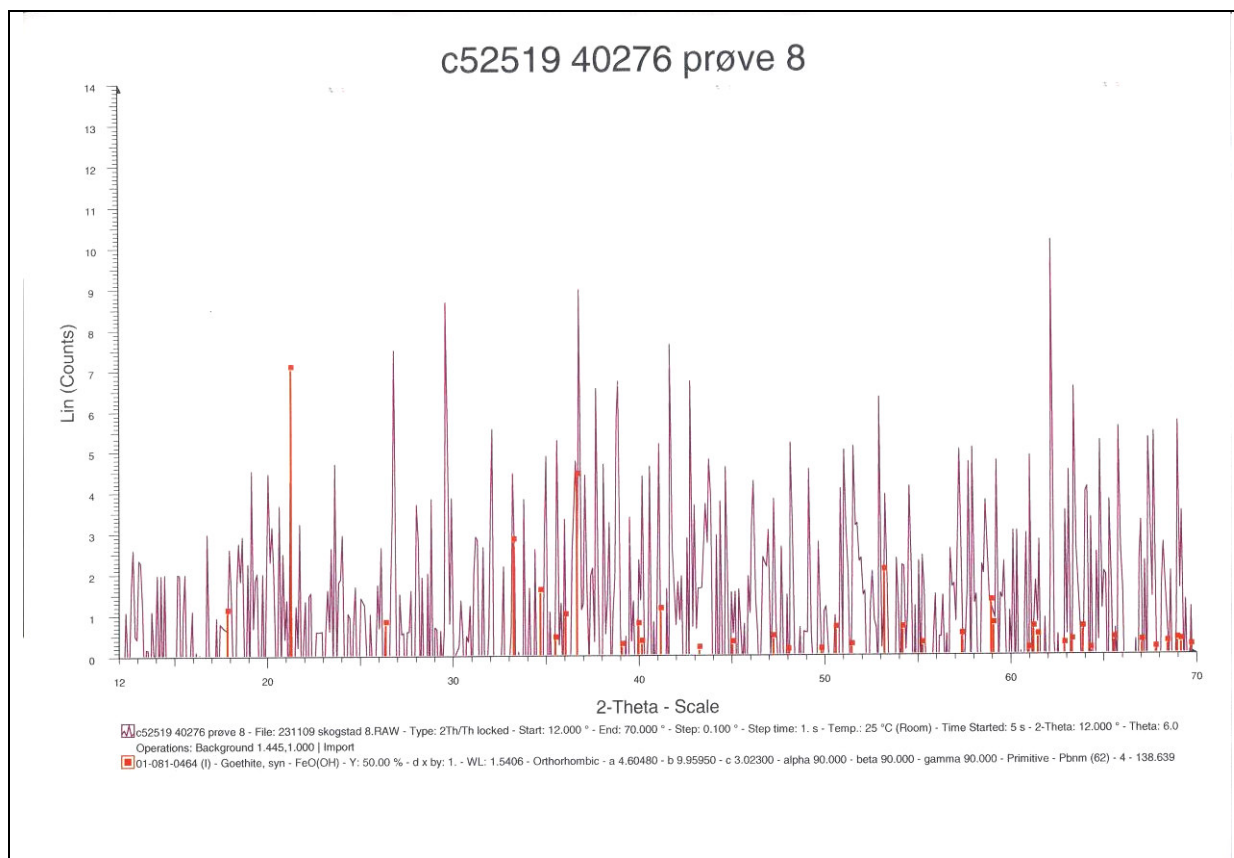
Figur 144: XRD prøve 1 før behandling. Goethitt



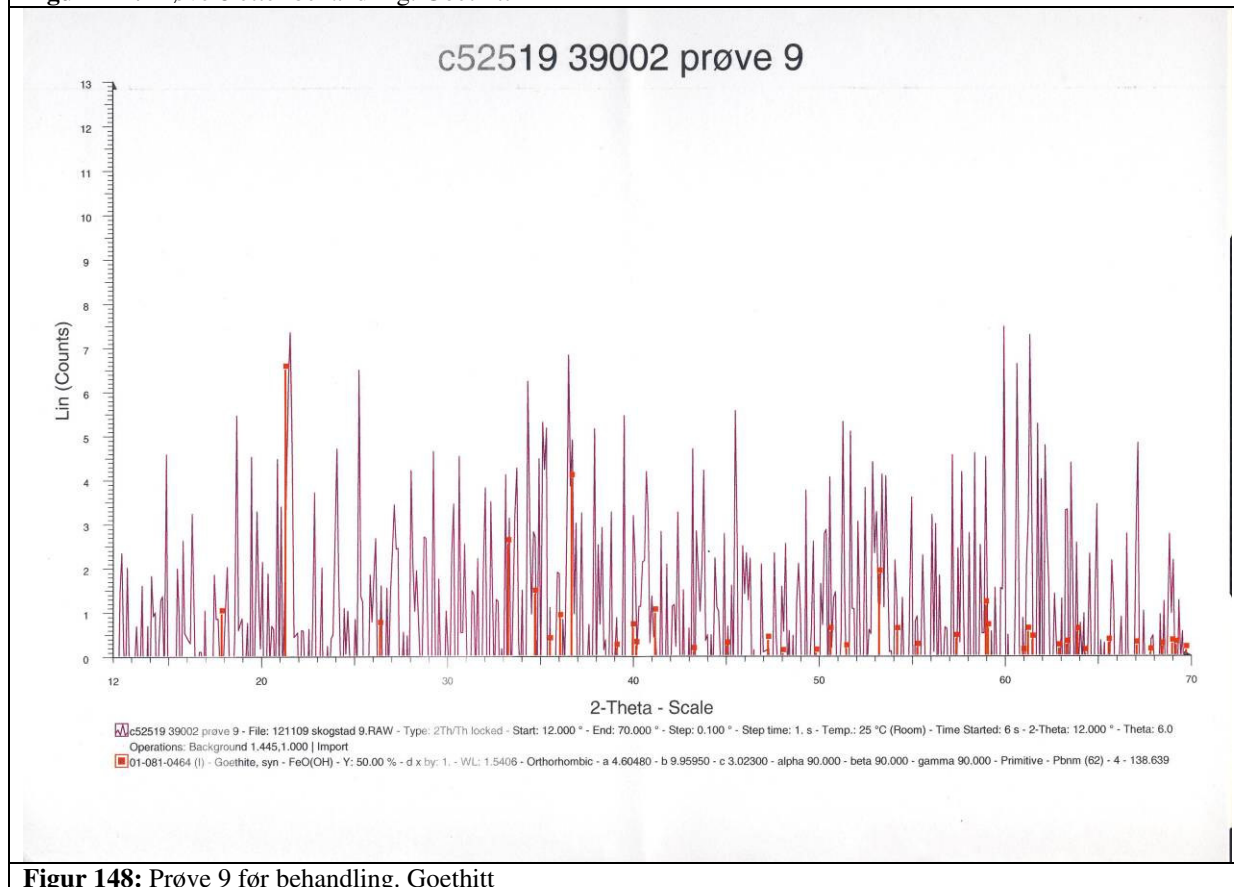
Figur 145: Prøve 1 etter behandling. Goethitt



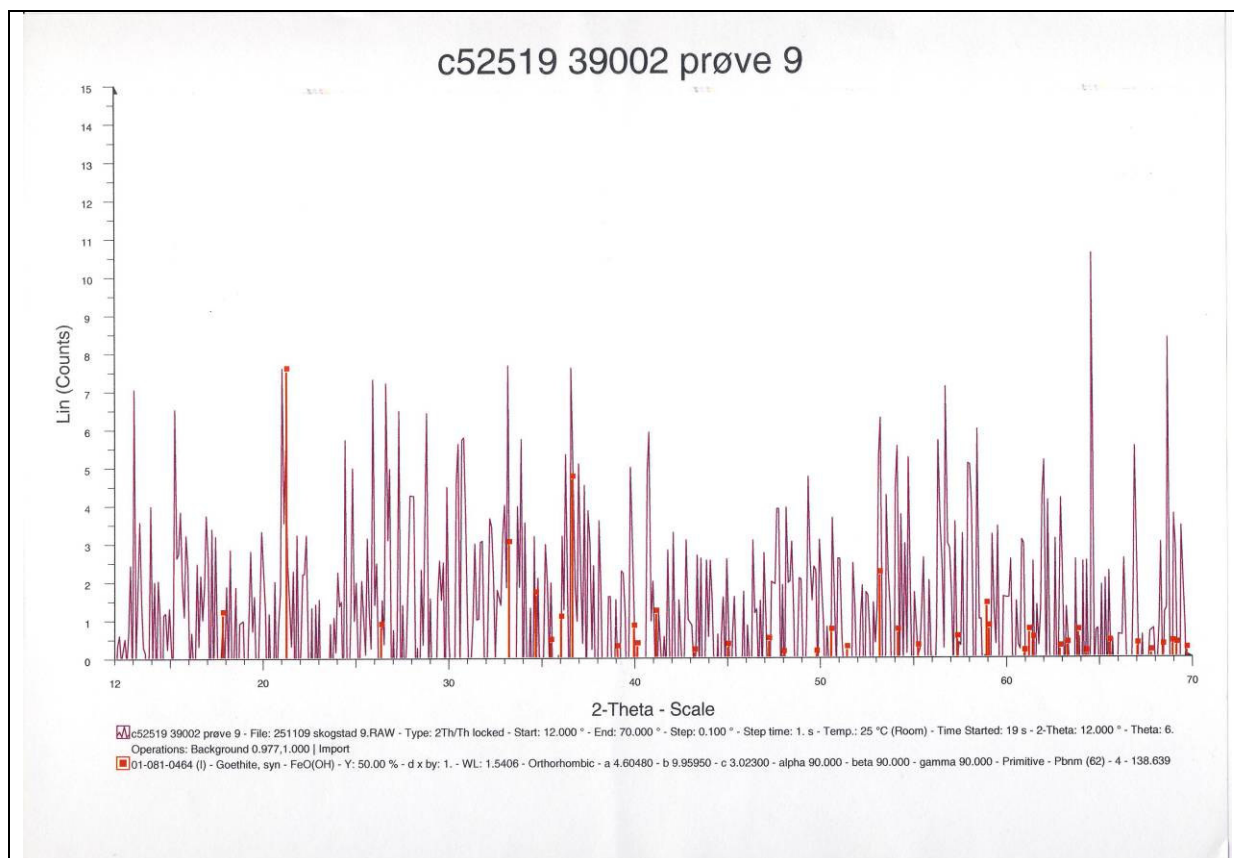
Figur 146: Prøve 8 før behandling. Goethitt



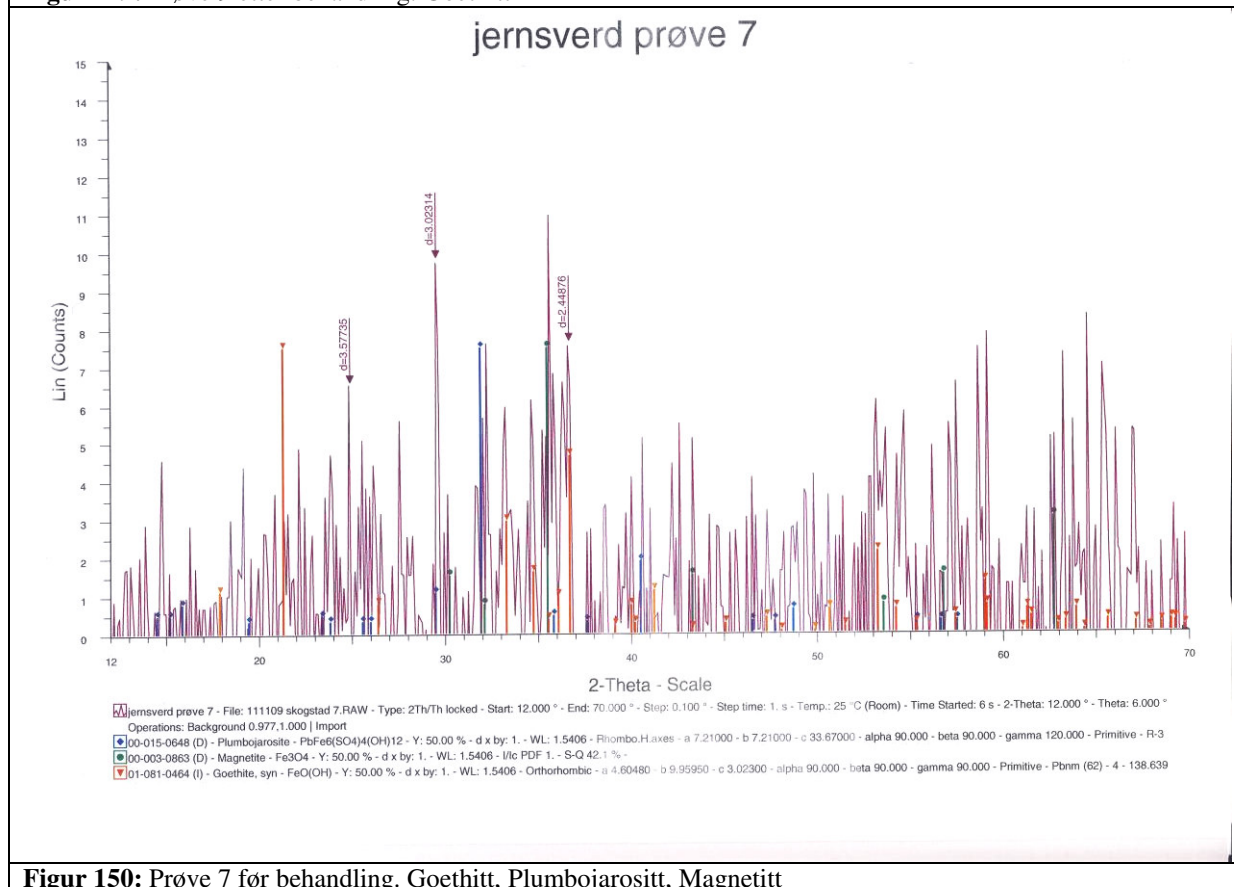
Figur 147: Prøve 8 etter behandling. Goethitt



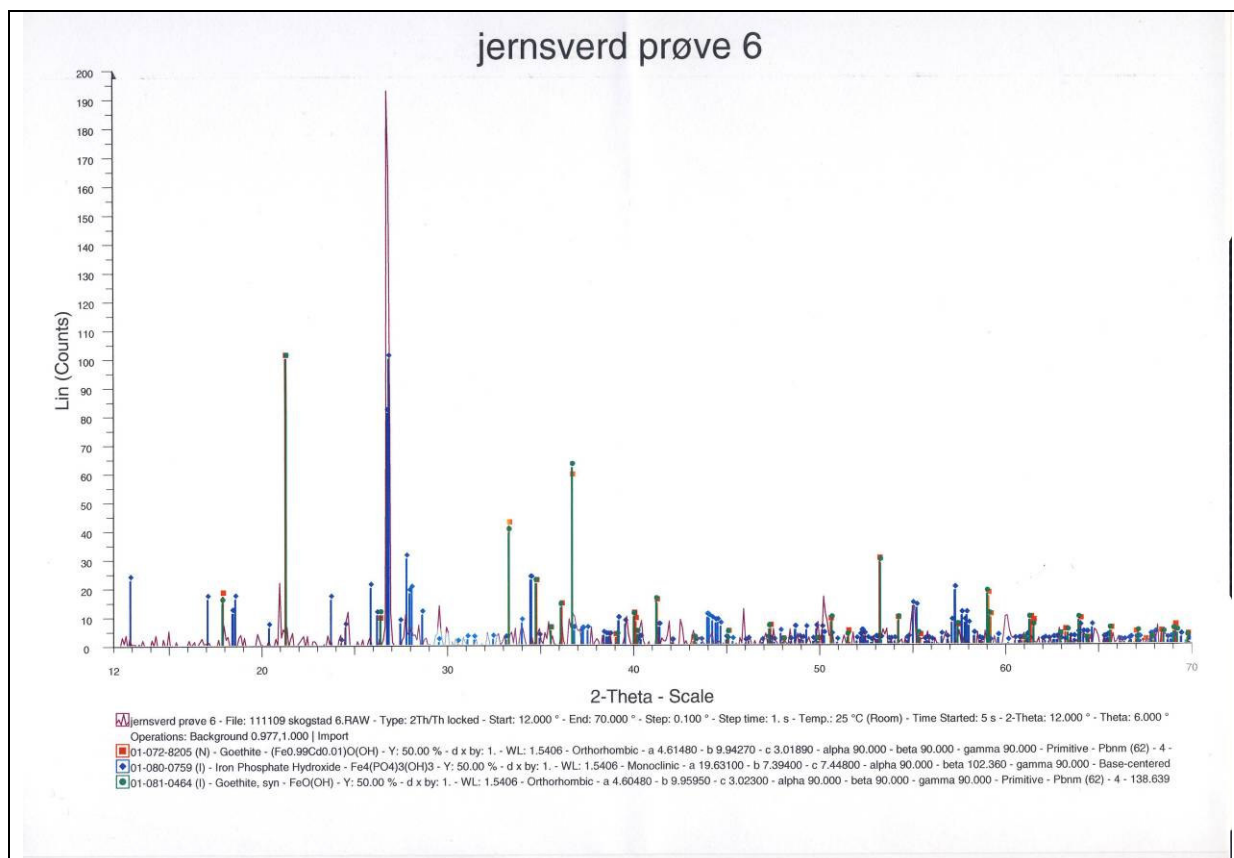
Figur 148: Prøve 9 før behandling. Goethitt



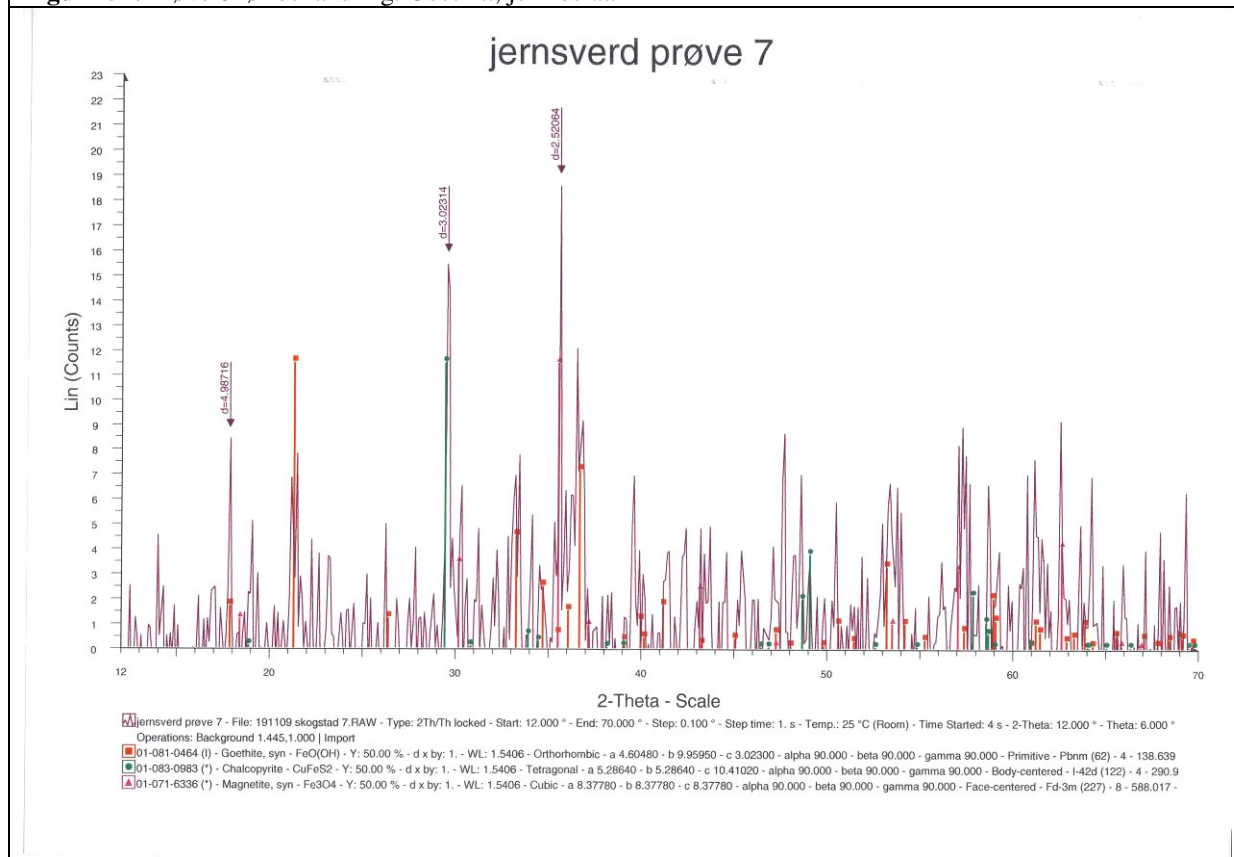
Figur 149: Prøve 9 etter behandling. Goethitt



Figur 150: Prøve 7 før behandling. Goethitt, Plumbojarositt, Magnetitt



Figur 151: Prøve 6 før behandling. Goethitt, jernfosfat.



Figur 152: Prøve 7 etter behandling. Goethitt, magnetitt, chalcopyritt.

Vedlegg VI: Besvarelse av spørreundersøkelse

Detaljerte besvarelser fra de syv museer/institusjoner som responderte på spørreundersøkelsen:

Spørreskjema for en oversikt over og vurdering av konserveringsbehandlinger for arkeologiske jerngjenstander på skandinaviske museer.

1. Foretas det på deres museum i forbindelse med dokumentasjonspraksis av arkeologiske gjenstander noen form for innledende undersøkelser av nylig utgravde jerngjenstander forut for konservering (f.eks. røntgenfotografering, undersøkelse under mikroskop for spor etter mineralisert organisk materiale etc.)? I så fall hvilke undersøkelser?

Røntgen gjøres ganske rutinemessig, og er den viktigste undersøkelsesmetoden i utgangspunktet. Undersøkelse under arbeidsmikroskop/stereomikroskop benyttes dersom det sees spor av mineralisert treverk/tekstil eller lignende. Tegn til edelmetalldekor er også noe som gjerne undersøkes nøyere om røntgen eller avrensingen antyder spor av det.

2. Hvilken/hvilke konserveringsmetode(r) anvendes på deres museum for arkeologiske jerngjenstander? Dersom mer enn en metode anvendes, indiker gjerne proporsjonsforholdet mellom metodene.

Avrensing:

- Sandblåsing med aluminiumsoksid er vanligste avrenningsmetode.
- Dette kan bli kombinert med mer manuell mekanisk avrensing, ved bruk av tang eller skalpell for eksempel, men det skjer normalt kun i spesielle tilfeller.

Saltutvasking:

- Overflaten kan bli impregnert med for eksempel uttynnet paraloid-B72 for å hindre at den flasser av, om den er skjør og noe delaminert. Dette gir en blank overflate som kan mattes etter tørking ved lett sandblåsing.

- Saltutvasking med 0,1M NaOH (Natriumhydroksid) i vameskap (60 grader) er rutinemessig. Gjerne 4-5 skiftinger av bad over en 3-4 måneders periode, avhengig av hvor mye salt som måles med kloridelektroden ved slutten av hvert bad. Det skiftes bad hyppigst i starten. Sverdlange gjenstander må behandles utenfor varmeskap foreløpig, så det må ligge mye lenger, helst flere år.
- 0,5 NaOH + 0,5 M Na₂SO₃ (natriumsulfitt) kan bli benyttet på mer robuste og store gjenstander som er krevende å få saltutvasket. Dette sliter mer på gjenstanden, men er mer effektivt. Metoden benyttes sjelden, men typisk på for eksempel et stort anker fra middelalder.
- Glødeovn benyttes ikke lenger for å fjerne salter (skader herdestrukturer og kaldbearbeidingsdeformasjoner i krystallstrukturen, som er informasjon om fremstillingen. Overflaten kan også nedbrytes og bli skjør av gløding.)
- Voksing benyttes ikke lenger for å hindre tilgang på oksygen. Det har ikke fullverdig effekt, og er problematisk ved senere rebehandlinger.

Tørrom/tørrmagasin som preventive metode benyttes både før (i tørrom før konservering 15-20% RF, oftest nede ved 15%) og etter saltutvasking (i tørrmagasin ca 15-30% RF). Dette er viktige virkemidler ved museet. Saltutvasking er ofte ikke 100% vellykket, så preventive virkemidler er viktig. Frysing benyttes i mer sjeldne tilfeller før saltutvasking for å hindre korrosjon, særlig om det er kompositte jerngjenstander med vått organisk materiale.

3. Hva baseres valg av konserveringsbehandling på? Ranger i forhold til viktighet:
 - Forbedret stabilitet - 3
 - Visuelle resultater -
 - Ivaretagelse av antatt original overflate - 2
 - Mulighet for rebehandling – 4
 - Ivaretagelse av gjenstandens informasjonspotensiale - 1
 - Tilgjengelige ressurser - 5
 - Annet –
4. Er det en tendens at jernet ofte er ustabil selv etter konserveringsbehandling? D.v.s. synlig aktiv korrodering og/eller oppsprekking av jerngjenstanden.

Ja, det er et svært vanlig problem, spesielt dersom saltinnholdet er høyt fra funnstedet. Høyfjellsfunn har lite saltproblemer, men selv disse kan være ustabile. Fungerer de kjente stabiliseringsmetodene ved jernkonservering (dvs endelige løsninger, ikke preventive)? Nei, ingen metoder fungerer tilfredstillende for saltfjerning. DETTE ER DET VIRKELIGE FORSKNINGSPROBLEMET INNEN JERNKONSERVERING.

5. Hvordan oppbevares arkeologiske jerngjenstander midlertidig direkte etter utgravning frem mot konservering? Kryss av for relevant svar:

- Ved relativ fuktighet lavere enn 20 % - **X. Dette er etter at det avleveres til konserveringsavdelingen, ikke i felt.**
- Så tørt som mulig
- Fuktig og med minst mulig tilgang på oksygen
- I en desoksidert vannbasert løsning
- Nedfryst – **(X i noen tilfeller. Dette er etter at det avleveres til konserveringsavdelingen, ikke i felt.)**
- Forseglet oppbevaring under inert gass eller med en oksygenfjerner tilstede.
- Annet

6. Hvor lang tid går det omtrentlig mellom utgravning av jernet og igangsatt konserveringsbehandling?

Det er et stort etterslep ved museet. Eksternt finansierte funn kan bli behandlet innen 1-2 år. Funn uten direkte finansiering kan bli liggende i mer enn et tiår.

7. Oppbevares jernet under kontrollert relativ fuktighet etter konservering? Hvis ja, under hvilken RF?

15-30% RF. Veksler i perioder på grunn av problemer med tørkemaskiner.

8. Anses konservering av arkeologisk jern på museet som spesielt ressurskrevende og/eller tidkrevende? Hvis ja, hva mener du er grunnen til dette? Avrensingen av jernet ved sandblåsing, ned til original overflate er ofte svært tidkrevende. Saltutvaskingen er ikke like arbeidskrevende, men det krever en langvarig behandlingstid.

Spørreskjema for en oversikt over og vurdering av konserveringsbehandlinger for arkeologiske jerngjenstander på skandinaviske museer.

1. Foretas det på deres museum i forbindelse med dokumentasjonspraksis av arkeologiske gjenstander noen form for innledende undersøkelser av nylig utgravde jerngjenstander forut for konservering (f.eks. røntgenfotografering, undersøkelse under mikroskop for spor etter mineralisert organisk materiale etc.)? I så fall hvilke undersøkelser?

Before starting treatment on any iron object, an x-ray is taken and studied for shape, identification, special features such as decoration or information on technology. The museum has a digital x-ray machine since a year which sends the information directly to a computer which makes the viewing and the storage of information easier.

After gathering all the necessary information, the object receives a first manual cleaning under microscope so as to eliminate the soil covering the object, and so as to establish a preliminary overview of the different information that can be found in the corrosion products such as mineralised organic remains.

If any organic remains are identified, they are preserved and consolidated if necessary. A thorough written and visual documentation is carried out and stored in the conservation database. For identification of some products, SEM pictures are taken at the University of Stavanger.

2. Hvilken/hvilke konserveringsmetode(r) anvendes på deres museum for arkeologiske jerngjenstander? Dersom mer enn en metode anvendes, indiker gjerne proporsjonsforholdet mellom metodene.

- *Manual surface cleaning with different types of brushes and a scalpel*
- *Mechanical cleaning with rotating brushes or diamond drills*
- *Repositioning or joining of fragments with an acrylic or a cyanoacrylat adhesive*
- *If active corrosion, desalination in sodium hydroxide solution of 0,075M concentration*
- *Placement in a dry storage, RH<10%*

3. Hva baseres valg av konserveringsbehandling på? Ranger i forhold til viktighet:

- Forbedret stabilitet (1)
- Visuelle resultater (5)
- Ivaretagelse av antatt original overflate (4)
- Mulighet for rebehandling (3)
- Ivaretagelse av gjenstandens informasjonspotensiale (2)
- Tilgjengelige ressurser (6)
- Annet

4. Er det en tendens at jernet ofte er ustabilt selv etter konserveringsbehandling? D.v.s. synlig aktiv korrodering og/eller oppsprekking av jerngjenstanden.

Most the iron objects that were previously treated (20 to 50 years ago) and covered in wax for protection found in the storage rooms can be suffering of active corrosion if the storage conditions were not up to standards. The preventive conservation of the objects is as important if not more important on the long term for their stability. They should be kept in a dry environment.

Even with desalination of the Iron artefacts, although possibly less at risk, are still in most cases containing chlorides that can reactivate in an unstable climate.

5. Hvordan oppbevares arkeologiske jerngjenstander midlertidig direkte etter utgravning frem mot konservering? Kryss av for relevant svar:

- **X Ved relativ fuktighet lavere enn 20 %**
- Så tørt som mulig
- Fuktig og med minst mulig tilgang på oksygen
- I en desoksidert vannbasert løsning
- Nedfryst
- Forseglet oppbevaring under inert gass eller med en oksygenfjerner tilstede.
- Annet

6. Hvor lang tid går det omtrentlig mellom utgravning av jernet og igangsatt konserveringsbehandling?

Depending on the work load and the relevance or necessity of the work, the work can be undertaken directly after site up to one year delay. Having a dry room for unstable iron artefacts, there is no obligation for immediate treatment.

7. Oppbevares jernet under kontrollert relativ fuktighet etter konservering? Hvis ja, under hvilken RF?

- *Dry room under 10% for the most important or unstable artefacts*
- *Normal storage is about 45 % RF*

8. Anses konservering av arkeologisk jern på museet som spesielt ressurskrevende og/eller tidkrevende? Hvis ja, hva mener du er grunnen til dette?

Iron is the most common material found on site in the Rogaland area, it can be a source of considerable information when all the organic remains has disappeared, such as boat nails that can reveal the size shape and position of the boat that is no longer there. It has considerable information on the textiles, fur, wood...without mentioning the information of the object itself. It is time consuming but very relevant to our science.

The biggest problem with iron objects are their stability. If kept in a dry storage for eternity, they will have a good longevity, but what happens when put in exhibits or sent on loans?

The desalination process should be more accurate.

The understanding of the corrosion processes should be better investigated, the problem with the corrosion layers is that they are not homogenous on all the surface, they can be very different with few centimeters distance.

The cleaning means can be better evaluated by characterizing the original materials and understanding their deterioration, but chemical analyses is not often available and time doesn't always allow it.

The museum is also investigating the possibility of laser cleaning.

Spørreskjema for en oversikt over og vurdering av konserveringsbehandlinger for arkeologiske jerngjenstander på skandinaviske museer.

1. Foretas det på deres museum i forbindelse med dokumentasjonspraksis av arkeologiske gjenstander noen form for innledende undersøkelser av nylig utgravde jerngjenstander forut for konservering (f.eks. røntgenfotografering, undersøkelse under mikroskop for spor etter mineralisert organisk materiale etc.)? I så fall hvilke undersøkelser?

Röntgen av korrosionsklumpede artefakter och gravurnor innan utgrävning/konservering.

Detta tar Studio Västsvenk Konservering (SVK), Göteborg hand om. Vi transporterar arkeologiska metaller dit så fort som möjligt.

2. Hvilken/hvilke konserveringsmetode(r) anvendes på deres museum for arkeologiske jerngjenstander? Dersom mer enn en metode anvendes, indiker gjerne proporsjonsforholdet mellom metodene.

Studio Västsvenk Konservering, Göteborg (SVK) bör svara på denna fråga!

3. Hva baseres valg av konserveringsbehandling på? Ranger i forhold til viktighet:

- Forbedret stabilitet 1. 2.
- Visuelle resultater 2. 5.
- Ivaretagelse av antatt original overflate 3.
- Mulighet for rebehandling 6.
- Ivaretagelse av gjenstandens informasjonspotensiale 4.
- Tilgjengelige ressurser 1.
- Annet

Det är svårt att ge något enhetligt svar och ge en för alla undersökningar och föremål gällande rangordning. Allt beror på vilka omständigheter som gäller för just den undersökningen eller för just det föremålet. I de flesta fall är det nog rent generellt den ekonomiska verkligheten som är mest styrande.

4. Er det en tendens at jernet ofte er ustabilt selv etter konserveringsbehandling? D.v.s. synlig aktiv korrodering og/eller oppsprekking av jerngjenstanden.

Någon gång har föremål inte klarat sig efter konserveringsåtgärder. Men det hör till undantagen. Vid konservering i samband med en marinarkeologisk undersökning sprängdes åtgärdade kanonkulor av järn från 1700-talets början. Ytskiktet klarade inte påfrestningar från den nya omgivning som kanonkulorna överfördes till. Innandömet var helt korroderat.

5. Hvordan oppbevares arkeologiske jerngjenstander midlertidig direkte etter utgravning frem mot konservering? Kryss av for relevant svar:

- Ved relativ fuktighet lavere enn 20 % **X**
- Så tørt som mulig
- Fuktig og med minst mulig tilgang på oksygen **X**
- I en desoksidert vannbasert løsning
- Nedfrost
- Forseglet oppbevaring under inert gass eller med en oksygenfjerner tilstede.
- Annet
- Annet **X** I samma miljö som den grävdes upp ifrån, dvs som preparat med omgivande jord i försluten burk/ask/påse och i kylskåp.

6. Hvor lang tid går det omtrentlig mellom utgravning av jernet og igangsatt konserveringsbehandling?

Ca någon vecka innan leverans till konservator (Studio Västsvenk Konservering, Göteborg)

7. Oppbevares jernet under kontrollert relativ fuktighet etter konservering? Hvis ja, under hvilken RF?

På 2000-talets början installerades en avfuktningsbar skåpsektion i ett av museets magasin (+/- 50% RF). I skåpet ligger värdena på ca 21 - 24 % RF (vinter lågt – sommar högre).

8. Anses konservering av arkeologisk jern på museet som spesielt ressurskrevende og/eller tidkrevende? Hvis ja, hva mener du er grunnen til dette?

Ja, det får vi allt säga.

Materialet kr ver specialkunskap och mer tillsyn än de flesta andra materialtyper.

Teknikdelen tillkommer för rum med lägre luftfuktighet än vad andra föremål bör ha.

Resurser vad gäller specialicerad personal har minskad drastiskt under senare  r.

Magasinspersonal  r i det närmaste obefintlig. Teknikinsatser är oftast köpt t n st.

Likaså specialarrangemang vid utst llning; extra torra montrar d r bara metall från unders kningen kan visas. Andra materialkategorier f r exponeras vid sidan om i ytterligare en monter.

Spørreskjema for en oversikt over og vurdering av konserveringsbehandlinger for arkeologiske jerngjenstander på skandinaviske museer.

1. Foretas det på deres museum i forbindelse med dokumentasjonspraksis av arkeologiske gjenstander noen form for innledende undersøkelser av nylig utgravde jerngjenstander forut for konservering (f.eks. røntgenfotografering, undersøkelse under mikroskop for spor etter mineralisert organisk materiale etc.)? I så fall hvilke undersøkelser?

Vi har tyv rr ingen tilg ng til r ntgen på museet, men vid konservering av fynden arbe tar vi under mikroskop. Ibland skickas de arkeologiske fynden till konservering på annan institution och ofta skickas prover iväg för att få oppgifter om benfragment och liknande.

2. Hvilken/hvilke konserveringsmetode(r) anvendes på deres museum for arkeologiske jerngjenstander? Dersom mer enn en metode anvendes, indiker gjerne proporsjonsforholdet mellom metodene.

Vi arbe tar under mikroskop där vi avlägsnar jord och korrosion med skalpell och roterande handverkt yg. Ofta bl strar vi f rem let i en mikrobl ster med en blandning av aluminiumoxid och glas. Därefter urlakas j rnet i NaOH och sist f r f rem let en skyddande ytbehandling av Dinitrol pasta.

3. Hva baseres valg av konserveringsbehandling på? Ranger i forhold til viktighet:

- Forbedret stabilitet – 2.
- Visuelle resultater – 5.
- Ivaretagelse av antatt original overflate – 3.
- Mulighet for rebehandling – 4.
- Ivaretagelse av gjenstandens informasjonspotensiale – 6.
- Tilgjengelige ressurser – 1.
- Annet – 7.

4. Er det en tendens at jernet ofte er ustabilt selv etter konserveringsbehandling? D.v.s. synlig aktiv korrodering og/eller oppsprekking av jerngjenstanden.

Nei, det opplever jeg ikke at det finns.

5. Hvordan oppbevares arkeologiske jerngjenstander midlertidig direkte etter utgravning frem mot konservering? Kryss av for relevant svar:

- Ved relativ fuktighet lavere enn 20 %
- Så tørt som mulig **X**
- Fuktig og med minst mulig tilgang på oksygen
- I en desoksidert vannbasert løsning
- Nedfryst
- Forseglet oppbevaring under inert gass eller med en oksygenfjerner tilstede.
- Annet

6. Hvor lang tid går det omtrentlig mellom utgravning av jernet og igangsatt konserveringsbehandling?

Ungefär 6 månader, men vi arbetar på att förkorta den tiden.

7. Oppbevares jernet under kontrollert relativ fuktighet etter konservering? Hvis ja, under hvilken RF?

Ja, runt 35 RF, men det är inte så stabilt som jag skulle önska.

8. Anses konservering av arkeologisk jern på museet som spesielt ressurskrevende og/eller tidkrevende? Hvis ja, hva mener du er grunnen til dette?

Ja, jeg skulle anse att det kræver en del resurser och att övriga museet kan anse det också. Särskilt om man ska starta upp en fungerande metallkonservering från början. Det krävs mycket teknisk utrustning som röntgen, bläster och övriga verktyg. Vid vårt museum har man ägnat sig mycket åt målerikonservering och jag upplever att det inte kræver lika mycket utrustning.

Spørreskjema for en oversikt over og vurdering av konserveringsbehandlinger for arkeologiske jerngjenstander på skandinaviske museer.

1. Foretas det på deres museum i forbindelse med dokumentasjonspraksis av arkeologiske gjenstander noen form for innledende undersøkelser av nylig utgravde jerngjenstander forut for konservering (f.eks. røntgenfotografering, undersøkelse under mikroskop for spor etter mineralisert organisk materiale etc.)? I så fall hvilke undersøkelser?

Röntgen av korrosionsklumpede artefakter och gravurnor innan utgrävning/konservering.

Detta tar Studio Västsvensk Konservering (SVK), Göteborg hand om. Vi transporterar arkeologiska metaller dit så fort som möjligt.

SVK: Alla järnföremål som ska konserveras röntgas före arbetets start. Detta görs både för att ta reda på nedbrytningsgrad och för att identifiera material, dekor etc.

Röntgenbilden fungerer sen också som dokumentation av föremålet före konservering.

Innan rensning undersöks fynden också under mikroskop för att identifiera andra material (trä, läder, textil etc) och/eller dekor och andra ytbehandlinger.

2. Hvilken/hvilke konserveringsmetode(r) anvendes på deres museum for arkeologiske jerngjenstander? Dersom mer enn en metode anvendes, indiker gjerne proporsjonsforholdet mellom metodene.

SVK: Mekanisk rensning med mikrobläster, dentalverktyg, roterande trissor, skalpell etc. (landfunnet material). Kraftigare mekanisk rensning förekommer på marinarkeologiskt material med kraftiga järnkorrosionskruster. Urlakning i basiska lösningar (NaOH eller Na₂SO₃). Om järn förekommer tillsammans med organiska rester eller andra metallslag tas hänsyn till detta vid urlakning.

3. Hva baseres valg av konserveringsbehandling på? Ranger i forhold til viktighet:

- Forbedret stabilitet 1. 2. 1.
- Visuelle resultater 2. 5. 5.
- Ivaretagelse av antatt original overflate 3. 3.
- Mulighet for rebehandling 6. 2.
- Ivaretagelse av gjenstandens informasjonspotensiale 4.
- Tilgjengelige ressurser 1. 6.
- Annet

Det är svårt att ge något enhetligt svar och ge en för alla undersökningar och föremål gällande rangordning. Allt beror på vilka omständigheter som gäller för just den undersökningen eller för just det föremålet. I de flesta fall är det nog rent generellt den ekonomiska verkligheten som är mest styrande.

4. Er det en tendens at jernet ofte er ustabilt selv etter konserveringsbehandling? D.v.s. synlig aktiv korrodering og/eller oppsprekking av jerngjenstanden.

Någon gång har föremål inte klarat sig efter konserveringsåtgärder. Men det hör till undantagen. Vid konservering i samband med en marinarkeologisk undersökning sprängdes åtgärdade kanonkulor av järn från 1700-talets början. Ytskiktet klarade inte påfrestningar från den nya omgivning som kanonkulorna överfördes till. Innandömet var helt korroderat.

5. Hvordan oppbevares arkeologiske jerngjenstander midlertidig direkte etter utgravning frem mot konservering? Kryss av for relevant svar:

- Ved relativ fuktighet lavere enn 20 % X
- Så tørt som mulig
- Fuktig og med minst mulig tilgang på oksygen X

- I en desoksidert vannbasert løsning
- Nedfryst
- Forseglet oppbevaring under inert gass eller med en oksygenfjerner tilstede.
- Annet
- Annet **X** I samma miljø som den grävdes upp ifrån, dvs som preparat med omgivande jord i försluten burk/ask/påse och i kylskåp.

SVK: De fynd som valts ut till konservering förvaras antingen så torrt som möjligt – oftast under 20% RH. Eller i kylutrymme i sina fyndpåsar tillsammans med jord och med så lite tillgång på syre som möjligt. Finns det en möjlighet att fynden innehåller organiskt material så väljer vi det senare. Vi har också märkt att det är lättare att rensa järnföremål som inte har torkat ut kraftigt. Mindre sprickbildning även på järnet.

6. Hvor lang tid går det omtrentlig mellom utgravning av jernet og igangsatt konserveringsbehandling?

Ca någon vecka innan leverans till konservator (Studio Västsvenk Konservering, Göteborg)

SVK: Detta kan variera, men oftast brukar det komma in under utgrävning eller strax efter. Lite beroende på hur länge undersökningen pågår.

7. Oppbevares jernet under kontrollert relativ fuktighet etter konservering? Hvis ja, under hvilken RF?

På 2000-talets början installerades en avfuktningsskåpsektion i ett av museets magasin (+/- 50% RF). I skåpet ligger värdena på ca 21 - 24 % RF (vinter lågt – sommar högre).

8. Anses konservering av arkeologisk jern på museet som spesielt ressurskrevende og/eller tidkrevende? Hvis ja, hva mener du er grunnen til dette?

Ja, det får vi allt säga.

Materialet kräver specialkunskap och mer tillsyn än de flesta andra materialtyper.

Teknikdelen tillkommer för rum med lägre luftfuktighet än vad andra föremål bör ha.

Resurser vad gäller specialicerad personal har minskad drastiskt under senare år.

Magasinspersonal är i det närmaste obefintlig. Teknikinsatser är oftast köpt tjänst.

Likaså specialarrangemang vid utställning; extra torra montrar där bara metall från undersökningen kan visas. Andra materialkategorier får exponeras vid sidan om i ytterligare en monter.

Spørreskjema for en oversikt over og vurdering av konserveringsbehandlinger for arkeologiske jerngjenstander på skandinaviske museer.

1. Foretas det på deres museum i forbindelse med dokumentasjonspraksis av arkeologiske gjenstander noen form for innledende undersøkelser av nylig utgravde jerngjenstander forut for konservering (f.eks. røntgenfotografering, undersøkelse under mikroskop for spor etter mineralisert organisk materiale etc.)? I så fall hvilke undersøkelser?

Ovennevnte undersøgelser plus eventuelt metallurgiske undersøgelser, herunder uttagning af prøvemateriale.

2. Hvilken/hvilke konserveringsmetode(r) anvendes på deres museum for arkeologiske jerngjenstander? Dersom mer enn en metode anvendes, indiker gjerne proporsjonsforholdet mellom metodene.

Termisk behandling (800 grader i 16 timer i inert atmosfære).Elektrokemiske behandlinger. Mekanisk afrensning. Alle behandlinger afsluttes med voks-imprægnering.

3. Hva baseres valg av konserveringsbehandling på? Ranger i forhold til viktighet:
 - Forbedret stabilitet **2**
 - Visuelle resultater **3**
 - Ivaretagelse av antatt original overflate **1**
 - Mulighet for rebehandling **6**
 - Ivaretagelse av gjenstandens informasjonspotensiale **4**
 - Tilgjengelige ressurser **5**
 - Annet

4. Er det en tendens at jernet ofte er ustabilt selv etter konserveringsbehandling? D.v.s. synlig aktiv korrodering og/eller oppsprekking av jerngjenstanden.

Nei, sjældent, dog kan havopfiskede støbejernsgjenstande være problematiske

5. Hvordan oppbevares arkeologiske jerngjenstander midlertidig direkte etter utgravning frem mot konservering? Kryss av for relevant svar:

- Ved relativ fuktighet lavere enn 20 %
- Så tørt som mulig
- Fuktig og med minst mulig tilgang på oksygen
- I en desoksidert vannbasert løsning
- Nedfryst
- Forseglet oppbevaring under inert gass eller med en oksygenfjerner tilstede.
- Annet

Afhængig af nedbrydningsgrad og fundomstændigheder : Så tørt som muligt. Fugtigt uden tilgang af oxygen.

Andet : Vakuumpakket.

6. Hvor lang tid går det omtrentlig mellom utgravning av jernet og igangsatt konserveringsbehandling?

Fra få dage til flere år.

7. Oppbevares jernet under kontrollert relativ fuktighet etter konservering? Hvis ja, under hvilken RF?

RH mellom 50%-60%.

8. Anses konservering av arkeologisk jern på museet som spesielt ressurskrevende og/eller tidkrevende? Hvis ja, hva mener du er grunnen til dette?

Sammenlignet med alt annet ”musealt” jern? Nei

Spørreskjema for en oversikt over og vurdering av konserveringsbehandlinger for arkeologiske jerngjenstander på skandinaviske museer.

1. Foretas det på deres museum i forbindelse med dokumentasjonspraksis av arkeologiske gjenstander noen form for innledende undersøkelser av nylig utgravde jerngjenstander forut for konservering (f.eks. røntgenfotografering, undersøkelse under mikroskop for spor etter mineralisert organisk materiale etc.)? I så fall hvilke undersøkelser?

Vi tar rutinemessig røntgen av alle jerngjenstander før de gis museumsnummer og eventuelt innlemmes i våre samlinger. Undersøkelse under mikroskop gjøres dersom de oppdages rester av mineralisert organisk materiale i forbindelse med røntgenfotograferingen.

9. Hvilken/hvilke konserveringsmetode(r) anvendes på deres museum for arkeologiske jerngjenstander? Dersom mer enn en metode anvendes, indiker gjerne proporsjonsforholdet mellom metodene.

Utvasking med NaOH er hovedmetoden pr. idag. I tillegg blir noe jern kun rensset, avfettet og lakkert dersom det er ekstremt stabilt og/eller ikke lenger har metallisk kjerne. I begge tilfeller blir jernet i etterkant av behandlingen plassert i klimaregulert magasin som holder 18-20% RH.

10. Hva baseres valg av konserveringsbehandling på? Ranger i forhold til viktighet:

- 2. Forbedret stabilitet
- 4. Visuelle resultater
- 3. Ivaretagelse av antatt original overflate
- 5. Mulighet for rebehandling
- 1. Ivaretagelse av gjenstandens informasjonspotensiale
- 6. Tilgjengelige ressurser
- Annet

Valg av behandlingsmetode kommer helt an på hva slags type gjenstand som skal konserveres så dette spørsmålet blir veldig vanskelig å svare på. Jeg har likevel forsøkt å besvare basert på et veldig generelt utgangspunkt.

11. Er det en tendens at jernet ofte er ustabilt selv etter konserveringsbehandling? D.v.s. synlig aktiv korrodering og/eller oppsprekking av jerngjenstanden.

Vi har ikke lang nok erfaring med metodene vi bruker nå til å si noe særlig om dette. Foreløpig ser det ut til at metallet vi behandler holder seg forholdsvis stabilt. Det er en del oppsprekking og aktiv korrodering av materiale som er konservert for 30-40 år siden, men vi vet lite om konserveringsmetodene som har vært brukt.

12. Hvordan oppbevares arkeologiske jerngjenstander midlertidig direkte etter utgravning frem mot konservering? Kryss av for relevant svar:

- Ved relativ fuktighet lavere enn 20 %
- Så tørt som mulig
- Fuktig og med minst mulig tilgang på oksygen
- I en desoksidert vannbasert løsning
- **Nedfrost**
- Forseglet oppbevaring under inert gass eller med en oksygenfjerner tilstede.
- Annet

I hovedsak holdes det nedfrost, alternativt så tørt som mulig.

13. Hvor lang tid går det omtrentlig mellom utgravning av jernet og igangsatt konserveringsbehandling?

Dette avhenger også av en del ulike faktorer. Dersom det er penger og personale blir konserveringen igangsatt så før gjenstandene har fått museumsnummer. Uten dette kan det gå flere år før konserveringsprosessen igangsettes.

14. Oppbevares jernet under kontrollert relativ fuktighet etter konservering? Hvis ja, under hvilken RF?

Jerngjenstander blir etter endt konservering magasinert i 18-20 % RH.

15. Anses konservering av arkeologisk jern på museet som spesielt ressurskrevende og/eller tidkrevende? Hvis ja, hva mener du er grunnen til dette?

Jernkonservering er tidkrevende fordi man som regel har et stort antall jerngjenstander fra en utgravning sett i forhold til andre gjenstandsgrupper og fordi renseprosessen (sandblåsing) tar mye tid. I tillegg kommer utvasking hvor muligheten er til stede for at

jernet sprekker opp slik at man i tillegg får en større jobb med å lime gjenstander. Når jern er såpass ustabilt føler man at man bruker svært mye tid og ressurser på gjenstander som relativt sett ikke umiddelbart fremstår som svært interessante (mye jernnagler og uidentifiserbare gjenstander) samt at de er potensielt ustabile selv etter konservering.